

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

М. А. Коваленко

# **МОНТАЖ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

## **КУРС ЛЕКЦІЙ**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою «Електричні машини і апарати»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2025

*Рецензент:* Островерхов М.Я., докт. техн. наук, професор, авідувач кафедри «Теоретична електротехніка», Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

*Відповідальний редактор:* С.С. Цивінський, канд. техн. наук, доцент.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 08.05.2025 р.) за поданням вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 11 від 28.04.2025 р.)

Коваленко М.А. Монтаж електричних машин: курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освіт. програмою “Електричні машини і апарати” спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М. А. Коваленко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 110 с.

Подано матеріал лекцій дисципліни «Монтаж електричних машин». Зібраний матеріал по монтажу, наладці, ремонту, технічному обслуговуванню та випробуванню електричних машин, які є основною частиною багатьох електромеханічних комплексів. В посібнику розглядаються загальні питання, що стосуються монтажу електричних машин малої, середньої та великої потужності. Розглядаються асинхронні машини із короткозамкненим ротором, фазним ротором, синхронні машини з електромагнітним збудженням явнополюсні та неявнополюсні та машини постійного струму. Курс лекцій призначений для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні машини і апарати» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Реєстр. № 24/25-489. Обсяг 3,35 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М.А. Коваленко  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ</b> .....	3
<b>Перелік скорочень</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>ЛЕКЦІЯ 1</b> .....	10
<b>РОЗДІЛ 1 НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН, ЇХ ВИЯВЛЕННЯ І УСУНЕННЯ</b> .....	10
<b>Тема 1.1 Електричні відмови в асинхронних машинах (АМ)</b> .....	10
1.1.1 Перегрів обмотки статора АМ.....	10
1.1.2 Перегрів обмотки ротора .....	11
1.1.3 Обрив в обмотці статора .....	11
1.1.4 Обрив в обмотці ротора (фазної або короткозамкненої).....	12
1.1.5 Знижений обертаючий момент.....	13
1.1.6 Способи перевірки правильності маркірування вивідних кінців обмотки статора.....	14
<b>ЛЕКЦІЯ 2</b> .....	21
<b>Тема 1.2 Пошкодження короткозамкнених обмоток ротора асинхронних двигунів</b> .....	21
1.2.1 Виявлення і усунення ушкоджень короткозамкнених обмоток .....	21
1.2.2 Нагрів і іскріння щіток і контактних кілець .....	22
<b>ЛЕКЦІЯ 3</b> .....	24
<b>Тема 1.3 Електричні відмови в синхронних машинах (СМ)</b> .....	24
1.3.1 Підвищений нагрів активної сталі якоря СМ .....	24
1.3.2 Перегрів обмотки якоря. ....	25
1.3.3 Перегрів обмотки збудження. ....	25
1.3.4 Несправності в пусковій клітці індуктора.....	26
<b>ЛЕКЦІЯ 4</b> .....	27
<b>Тема 1.4 Електричні відмови у машинах постійного струму (МПС)</b> .....	27
1.4.1 Перегрів обмотки якоря. ....	27

а) тривала робота при граничній потужності: .....	27
1.4.2 Розмагнічування і перемагнічування генераторів.....	27
1.4.3 При пуску двигуна його частота обертання надмірно зростає. ....	28
1.3.4 Двигун "гойдає" при послабленні магнітного потоку в обмотці збудження. ....	29
1.4.5 Перегрів машини постійного струму.....	30
<b>ЛЕКЦІЯ 5.....</b>	<b>32</b>
<b>Тема 1.5 Іскріння щіток в машинах постійного струму .....</b>	<b>32</b>
<b>1.5.2 Механічні відмови в ЕМ.....</b>	<b>33</b>
<b>ЛЕКЦІЯ 6, 7.....</b>	<b>35</b>
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН</b>	<b>35</b>
<b>Тема 2.1 Основні завдання експлуатації.....</b>	<b>35</b>
2.2.1 Структура управління електрогосподарством підприємства.....	35
<b>ЛЕКЦІЯ 8.....</b>	<b>39</b>
<b>Тема 2.2 Зберігання і транспортування ЕМ .....</b>	<b>39</b>
2.2.1 Умови зберігання і транспортування ЕМ.....	39
2.2.2 Загальний термін зберігання і транспортування ЕМ.....	41
2.2.3 Класифікація приміщень з електроустановками та розміщення електроустаткування .....	42
<b>ЛЕКЦІЯ 9.....</b>	<b>44</b>
<b>Тема 2.3 Вибір електродвигунів.....</b>	<b>44</b>
2.3.1 За родом струму і напруги.....	44
2.3.2 За конструктивним виконанням. ....	44
2.3.3 За способом монтажу .....	48
<b>ЛЕКЦІЯ 10.....</b>	<b>50</b>
<b>Тема 2.4 Вибір електродвигунів: по рівню вібрації і шуму та по потужності</b> .....	<b>50</b>
2.4.1 Вибір двигунів по класу вібрації.....	50
2.4.2 Вибір двигунів за рівнем шуму.....	50

2.4.3 Вибір двигунів по потужності.....	51
<b>ЛЕКЦІЯ 11.....</b>	<b>54</b>
<b>Тема 2.5 Вибір електродвигунів по потужності для режимів роботи S1...S8</b>	
.....	54
2.5.1 Режими роботи ЕМ (Держстандарт ГОСТ 183-75) .....	54
2.5.2 Вибір електродвигуна для різних режимів роботи.....	55
2.5.3 Вибір захисту електродвигунів .....	62
<b>ЛЕКЦІЯ 12.....</b>	<b>65</b>
<b>Тема 2.6 Технічне обслуговування ЕМ.....</b>	<b>65</b>
2.6.1 Технічне обслуговування ЕМ малої і середньої потужності.....	65
2.6.2 Технічне обслуговування електричних машин великої потужності.....	67
<b>ЛЕКЦІЯ 13.....</b>	<b>70</b>
<b>Тема 2.7 Виконання поточного чи капітального ремонту при монтажу</b>	
<b>електричних машин .....</b>	<b>70</b>
2.7.1 Процедура демонтажу електричних машин.....	70
2.7.2 Дефектація вузлів і деталей машин .....	71
2.7.3 Підготовка до заміни обмоток.....	72
<b>ЛЕКЦІЯ 14.....</b>	<b>75</b>
<b>Тема 2.8 Ремонт обмоток машин змінного струму при поточному і</b>	
<b>капітальному ремонті .....</b>	<b>75</b>
2.8.1 Поточний ремонт обмоток .....	75
2.8.2 Капітальний ремонт обмоток.....	76
2.8.3 Ремонт короткозамкнених обмоток ротора .....	76
<b>ЛЕКЦІЯ 15.....</b>	<b>79</b>
<b>Тема 2.9 Ремонт литих короткозамкнених обмоток ротора .....</b>	<b>79</b>
2.9.1 Способи заливки роторів .....	79
2.9.2 Ремонт мідних і латунних короткозамкнених кліток роторів .....	81
<b>ЛЕКЦІЯ 16.....</b>	<b>84</b>
<b>Тема 2.10 . Ремонт магнітного осердя статора та ротора.....</b>	<b>84</b>

2.10.1 Ремонт магнітопроводу ЕМ .....	84
2.10.2 Ремонт одно- і двошарових концентричних обмоток статора.....	86
2.10.3 Підвищення надійності відремонтованої частини активної сталі. ....	86
<b>ЛЕКЦІЯ 17.....</b>	<b>88</b>
<b>РОЗДІЛ 3 ІЗОЛЯЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН .....</b>	<b>88</b>
<b>Тема 3.1 Етапи технології просочення ізоляції обмоток.....</b>	<b>88</b>
3.1.1 Загальні положення процесу сушіння .....	88
3.1.2 Способи сушки ізоляції ЕМ .....	91
<b>ЛЕКЦІЯ 18.....</b>	<b>104</b>
<b>Тема 3.2 Обслуговування ізоляції обмоток ЕМ.....</b>	<b>104</b>
3.2.1 Просочення і сушіння обмоток статорів ЕМ.....	104
3.2.2 Контроль опору ізоляції при сушінні .....	106
<b>Список використаної літератури.....</b>	<b>109</b>

## Перелік скорочень

АМ – асинхронна машина

АД – асинхронний двигун

ЕМК – електромеханічний комплекс

ЕРС – електрорушійна сила

СД – синхронний двигун

СМ – синхронна машина

СГ – синхронний генератор

МПС – машина постійного струму

ЕМ – електрична машина

КЗ – короткозамкнений

## ВСТУП

Зібраний матеріал по монтажу, наладці, ремонту, технічному обслуговуванню та випробуванню електричних машин, які є основною частиною багатьох електромеханічних комплексів, представлений у вигляді навчального посібника для студентів Національного технічного університету України «Київський Політехнічний Інститут імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» освітньої програми першого бакалаврського рівня "Електричні машини і апарати".

Мета: дати студентам знання і підходи при вирішенні практичних завдань, пов'язаних з монтажем, наладкою, ремонтом різних типів електричних машин.

В цілому курс можна розділити на наступні розділи:

- Несправності електричних машин, їх виявлення і усунення;
- Технічне обслуговування електричних машин;
- Ізоляція електричних машин.

Отримані знання в тому або іншому ступені застосовуються в спеціальних курсах, при виконанні бакалаврських і дипломних робіт.

Матеріал посібника може скорочуватися або збільшуватися залежно від конкретних умов. Окрім того, автор не претендує на повноту і загальність матеріалу, що викладається.

Матеріал посібника може бути використаний студентами освітньої програми першого бакалаврського рівня "Електричні машини і апарати" при виконанні курсових робіт, пов'язаних з вибором різних електромеханічних комплексів, розрахунками окремих їх складових частин, а також проведенням аналізу їх працездатності.

Електричні машини (ЕМ) найчастіше всього виходять із ладу через неприпустимо тривалий термін роботи без ремонту, поганого зберігання,

обслуговування і порушення режиму роботи, на які вони розраховані. Усі несправності (відмови) в ЕМ можна розділити на 2 типи:

- електричні;
- механічні.

Розглянемо відмови в різних типах ЕМ, оскільки ЕМ є складовою частиною різних електромеханічних комплексів (ЕМК).

# ЛЕКЦІЯ 1

## РОЗДІЛ 1 НЕСПРАВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН, ЇХ ВИЯВЛЕННЯ І УСУНЕННЯ

### Тема 1.1 Електричні відмови в асинхронних машинах (АМ)

#### 1.1.1 Перегрів обмотки статора АМ

Порушення вентиляції. Може бути пов'язано з поломкою крильчатки вентилятора, внаслідок чого порушується відбір тепла в двигуні. Це призводить до підвищеного нагріву обмотки статора. У цьому разі необхідно замінити вентилятор.

Зміна напруги живлення. При збільшенні напруги живлячої мережі зростають магнітні втрати в осерді статора, що призведе до перегрівання обмотки статора, оскільки ці втрати нагріватимуть цю обмотку. При зменшенні напруги живлячої мережі збільшується струм в обмотці статора, що призводить також до перегрівання обмотки статора. При зміні живлячої напруги потрібно відрегулювати напругу мережі, щоб вона стала номінальною.

Місцеве перегрівання обмотки статора можна визначити за наступними ознаками:

- а) неоднаковий струм у фазах обмотки статора;
- б) двигун сильно гуде і працює з зниженим обертаючим моментом.

Ці несправності можуть залежати від:

- між виткові замикання у фазі обмотки, котушкової групі;
- неправильної розпайки котушки або котушкової групи у фазі обмотки;
- замикання фази на землю.

У цих випадках необхідно перепаяти обмотку або замінити на нову.

### 1.1.2 Перегрів обмотки ротора

Перегрівання фазної обмотки ротору і активної сталі осердя ротору супроводжується явищами: двигун при пуску не розвиває номінальної частоти обертання, сильно гуде і працює зі зниженим моментом, струм в обмотці статора пульсує (цю пульсацію можна проконтролювати за допомогою амперметра, підключеного до обмотки статора, або на слух, по гудінню активної сталі і частоті обертання). Усі перераховані несправності є ознакою поганого контакту в колі ротору, в пайках обмотки, контактних кільцях, щіткотримачах, пускових опорах.

У короткозамкненому роторі вказані несправності можуть бути пов'язані з поганим контактом в місцях з'єднань короткозамкнених кілець і стержнів обмотки ротору, а також обривів в стержнях. В цьому випадку необхідно замінити обірвані стержні, а місця з'єднань кілець і стержнів перепаяти.

При розімкненій фазній обмотці ротору і підведеній напрузі до обмотки статора, двигун повільно обертається і сильно гуде. Причиною такої несправності може бути замикання фазної обмотки ротора. Необхідно перевірити ізоляцію фазної обмотки ротора на корпус, візуально перевірити, чи не залишено після пайки олово, що може замкнути провідники обмотки ротору, що поруч лежать, перевірити візуально лобові частини обмотки на предмет відсутності замикання хомутиків в обмотці.

### 1.1.3 Обрив в обмотці статора

Несправності можуть бути мати місце:

- Обмотка сполучена в зірку:

а) якщо має місце обрив в одній фазі, то струм у цій фазі відсутній, а струм в інших - завищений і двигун не запуститься;

б) якщо станеться обрив в одній паралельній гілці фази обмотки, то інші паралельні гілки цієї фази перегріються. Якщо при цьому обрив стався при роботі двигуна під навантаженням, то двигун перевантажиться, що супроводжуватиметься сильним гудінням. При виявленні цих несправностей спочатку треба за допомогою вольтметра перевірити напругу в мережі. При цьому може виявитися, що перегорів запобіжник або стався обрив в одній з фаз живленого трансформатора. Якщо виявиться, що мережа справна, то треба шукати причину в двигуні.

- Обмотка статора сполучена в трикутник:

а) при обриві однієї фази, яка знаходиться між двома лінійними проводами, струм в цих провідниках при роботі двигуна буде значно менше, ніж в третьому провіднику;

б) при обриві однієї паралельної гілки струм в інших паралельних гілках збільшиться, що призведе до перегрівання цих гілок. При цьому двигун запусниться, але його потужність знизиться на третину.

Виявивши несправності в обмотці статора, їх необхідно усунути (перемотати фази обмотки або замінити котушки, або котушкові групи).

#### 1.1.4 Обрив в обмотці ротора (фазної або короткозамкненої)

- У живлячій мережі відбуваються коливання струму з частотою, рівній частоті ковзання. Також спостерігаються коливання напруги.

- Частота обертання ротора знижується, що може призвести до вібрації двигуна, особливо якщо двигун працює під навантаженням.

- Обрив декількох стержнів обмотки ротора не дасть можливості запустити двигун.

- Пуск двигуна ускладнений через поганих контактів у фазній обмотці ротора або короткозамкненому кільці.

- При з'єднанні фазної обмотки ротора в зірку, навантажений двигун може понизити частоту обертання приблизно в 2 рази. При цьому можлива стійка його робота, але обмотка гріється, і спостерігається підвищене гудіння двигуна. Якщо розвантажити двигун, то частота обертання залишиться незмінною і зниженою. Така ж картина спостерігається, якщо змінився опір в колі фазного ротора.

Обрив фазної обмотки ротора в умовах ремонту можна виявити за допомогою омметра, при його відсутності - за допомогою амперметра або вольтметра на постійному струмі.

### 1.1.5 Знижений обертаючий момент

Номінальний обертаючий момент двигуна досягається правильним з'єднанням фаз обмоток, правильним контактним з'єднанням обмоток в контактних кільцях, щіткотримачах, в зовнішньому колі. Проте, якщо невірно у фазі обмотці розпаяні котушки або невірно сполучені котушкові групи - це призводить до зниження моменту, зниженню частоти обертання і при цьому двигун повільно обертається, видаючи шум низького тону.

Для АД необхідно пам'ятати, що обертаючий момент істотно залежить від величини живлячої напруги ( $M \sim U^2$ ).

Приклад:

$$U_n = 380 \text{ В}$$

$$U = 340 \text{ В.}$$

U зменшилося на 11%. Момент зменшився на 20%.

### 1.1.6 Способи перевірки правильності маркірування вивідних кінців обмотки статора

Дуже часто після ремонту ЕМ з ремонтного підприємства або цеху приходить двигун, в якому відсутнє маркірування вивідних кінців.

Для визначення маркірування вивідних кінців обмотки статора існує ряд способів. Деякі з них розглянемо.

#### I спосіб

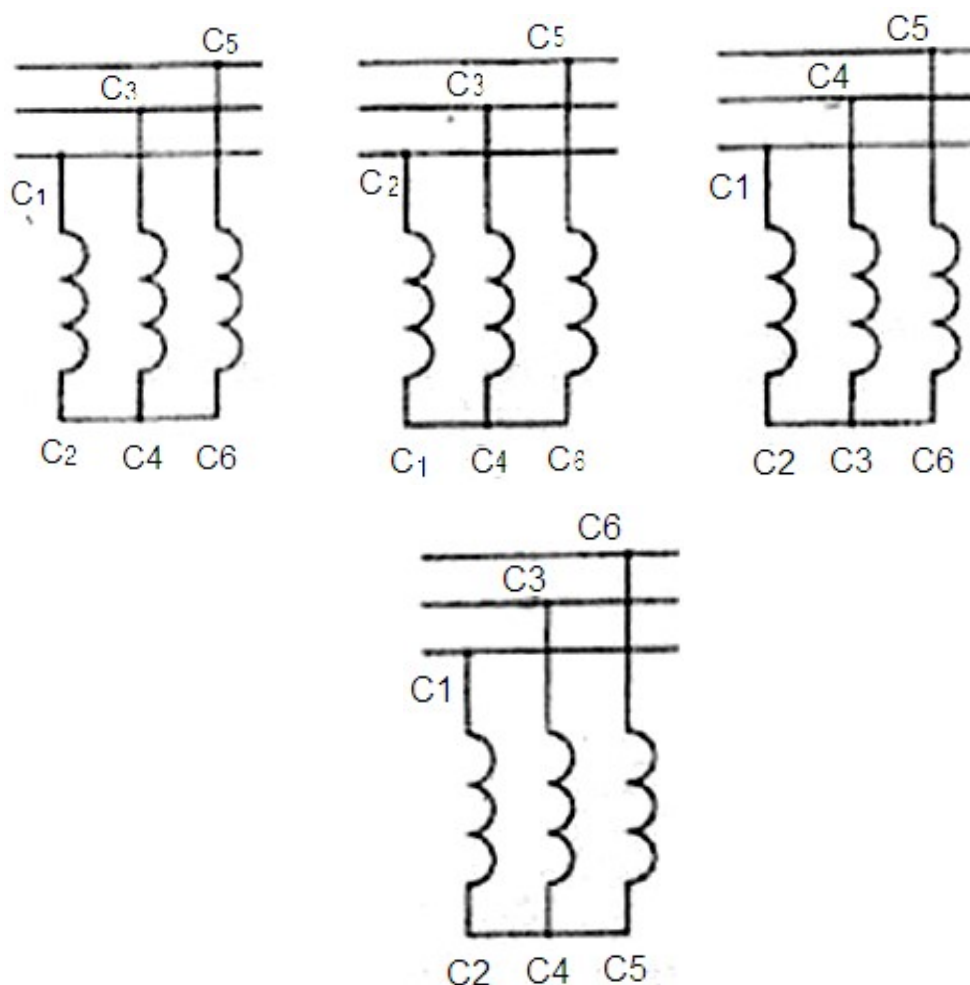


Рисунок 1.1 – Маркування вивідних кінців обмотки статора

Довільно маркіруємо вивідні кінці обмотки статора (рисунок 1.1). Потім підключаємо обмотку статора до джерела змінної напруги. При цьому можливі 4 варіанти умовних позначень і підключення фаз обмотки статора. Якщо після кожного підключення двигуна до мережі спостерігається сильне гудіння

низького тону, з цього виходять, що одна з фаз обмотки статора перевернута. Методом послідовного перебору підключення фаз обмотки статора можна добитися нормальної роботи двигуна.

## 2 спосіб

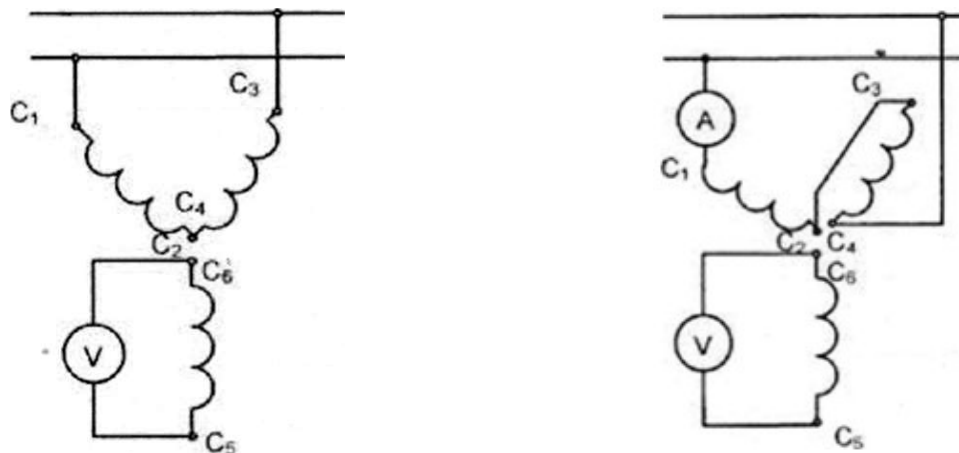


Рисунок 1.2 – Маркування вивідних кінців обмотки статора при другому способі

Довільно маркіруємо вивідні кінці обмотки статора. Послідовно сполучаємо дві будь-які фази (на рисунку 1.2 представлені 2 випадки включення фаз в мережу). До третьої вільної фази підключаємо вольтметр. Подавши знижену напругу на обмотку статора, за допомогою вольтметра вимірюємо величину напруги. Може бути 2 випадки: якщо вольтметр покаже напругу приблизно рівну напрузі джерела, то при маркіруванні поплутані початки і кінці однієї із фаз обмотки; якщо вольтметр покаже напругу, близьку до нуля, то маркірування початків і кінців фаз правильне).

Недоліком 2-го способу є те, що подання напруги мережі на обмотку непрацюючого двигуна може викликати великий струм.

## 3 спосіб

Довільно маркіруємо вивідні кінці фаз обмотки статора (рисунок 1.3): початок Н і кінець К. До однієї з обмоток підключаємо джерело постійного струму через рубильник Р.

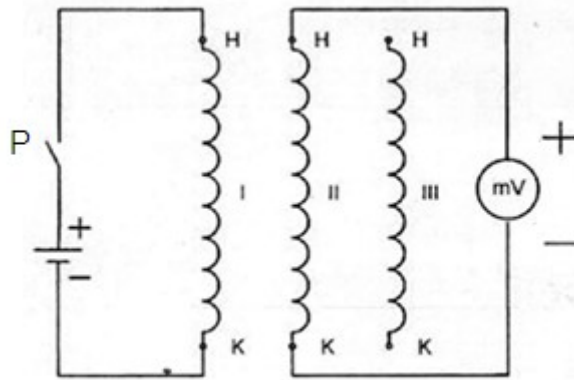


Рисунок 1.3 – Маркування вивідних кінців обмотки статора при третьому способі

До іншої вільної фази, також довільно маркірованої, підключаємо мілівольтметр. При цьому, при розмиканні рубильника Р на іншій фазі, до якої підключений мілівольтметр, "плюс" покаже початок фази, а "мінус" – кінець фази. При замиканні Р на вольтметрі буде полярність, зворотна вказаній. При цьому способі треба пам'ятати: мілівольтметр має бути магнітоелектричної системи. Недолік способу: його складно використати з цифровими мультиметрами в зв'язку їх низької швидкодії.

#### **4 спосіб**

Його можна застосувати, якщо виведені 3 вивідні кінці обмотки статора, тобто обмотка статора сполучена в зірку або трикутник. В цьому випадку (рисунок 1.4 а, б) до мережі підключені дві фази, а третя (вільна фаза) також підключена через вольтметр. При цьому за допомогою вольтметра вимірюють напругу між третьою фазою з вольтметром і двома фазами, які підключені до джерела. У разі правильного підключення ця напруга має дорівнювати половині величини напруги, яка прикладена до двох фаз. При чому ці співвідношення напруги зберігаються при живленні будь-яких двох виведень. Дослід проводять три рази, кожного разу подаючи напругу до різної пари виводів. Якщо одна з фаз виявляється приєднана невірно, то при двох дослідах з трьох напруга між третім виводом і кожним з двох інших буде неоднакова.

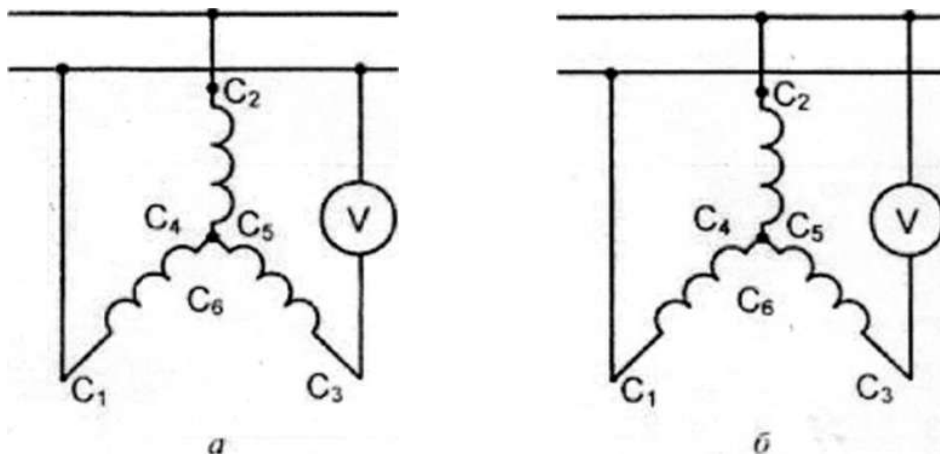


Рисунок 1.4 – Маркування вивідних кінців обмотки статора при четвертому способі

Цей спосіб треба проводити для короткозамкнених роторів при напрузі  $1/5 - 1/6$  від номінальної напруги, щоб уникнути перегрівання обмоток.

Для фазних роторів обмотка ротору має бути розімкнена.

Недоліком цього способу є те, що подання напруги мережі на обмотку статора не працюючого двигуна може викликати великий струм в мережі.

### 5спосіб

На рисунку 1.5 три обмотки сполучені в зірку довільним чином. На одну з обмоток подається напруга мережі.

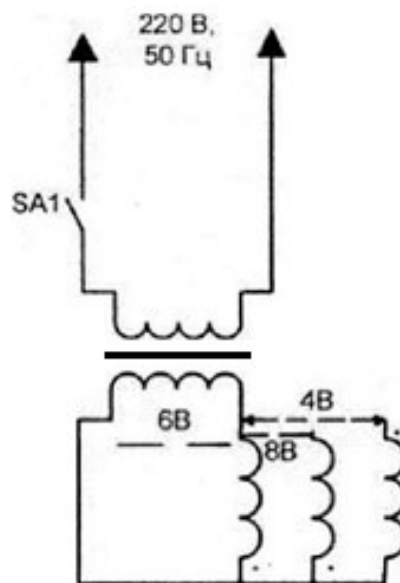


Рисунок 1.5 – Маркування вивідних кінців обмотки статора при п'ятому способі

При безпосередньому включенні в мережу змінного струму його величина обмежується лампою розжарювання, опором послідовно включеного паяльника, тону, праски, резистора, конденсатора, дроселя від люмінесцентного світильника і тому подібне. Можливе підключення обмотки через знижувальний трансформатор.

Вимірюється напруга на вторинній обмотці трансформатора і іншій обмотці, а також сумарна напруга на двох обмотках. Якщо вторинна обмотка і інша обмотка сполучені однойменними виводами, то напруга на двох обмотках дорівнює сумі напруг на кожній з обмоток. Інакше різниці. При найбільш частому з'єднанні обмоток зіркою і шести виводах такий вимір проводять без роз'єднання обмоток.

Приклад реальних вимірювань був виконаний (використовувалося довільне з'єднання його виводів) для двигуна потужністю 22 кВт. Отримані при вимірах цифри показані на рисунку 1.5.

### 6 спосіб

Дві фази обмотки двигуна, амперметр і лампочка включають послідовно (рисунок 1.6). Вимірюють струм при двох варіантах з'єднання.

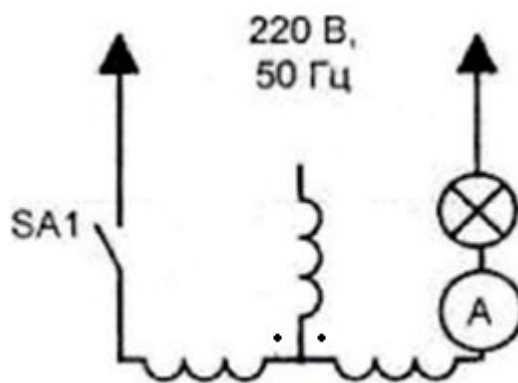


Рисунок 1.6 – Маркування вивідних кінців обмотки статора при шостому способі

З'єднанню однойменних виводів відповідає більший струм. Іноді (при потужності декілька кіловат) про величину струму можна судити по напруженню лампи. Аналогічно (як в схемі рисунку 1.5) можна використати знижувальний трансформатор. Приклад реальних вимірів опорів наведений в таблиці 1.1.

**Таблиця 1.1**

**Реальні виміри опорів**

Потужність двигуна, кВт	Активний опір одній обмотки, Ом	Повний опір однієї обмотки, Ом	Опір двох обмоток, з'єднання однойменних виводів, Ом	Опір двох обмоток, з'єднання різнойменних виводів, Ом
0,65	105	135	277	259
3	1,55	4,66	9,17	8,7

Різниця між двома способами з'єднання двох обмоток (фаз) між собою буде значнішою, якщо розрахувати індуктивний опір.

**7 спосіб**

Це різновид 5 способу. Він полягає у вимірі індуктивності однієї обмотки, а потім двох включених послідовно. Це робиться приладом для виміру індуктивності. Багато мультиметрів також дозволяють це зробити. Приклад реальних вимірів наведений в таблиці 1.2.

**Таблиця 1.2**

**Реальні виміри опорів**

Потужність двигуна, кВт	Індуктивність однієї обмотки	Індуктивність двох обмоток, з'єднання однойменних	Індуктивність двох обмоток, з'єднання різнойменних

		ВИВОДІВ	ВИВОДІВ
0,65 асинхронний	0,27 Гн	0,58 Гн	0,49 Гн
3,0 асинхронний	13...14,5 мГн	27,3...27,7 мГн	25,9...26,2 мГн
ДСТ- 4,8-6000 синхронний	3,7...3,8 мГн	9,3... 9,7 мГн	7,9... 8,1 мГн
ДСТ- 4,8-6000 синхронний, інше розташування ротора	5,7...5,9 мГн	11,6... 11,9 мГн	7,9...7,6 мГн

Для синхронного двигуна виміри проведені для двох положень ротора, що забезпечують максимальне і мінімальне значення індуктивностей. Зроблено це для підтвердження правильності прийому, тобто подібне визначення маркірування виводів можна проводити при будь-якому положенні ротора.

#### Контрольні запитання:

1. Які бувають пошкодження ЕМ в цілому?
2. До чого призводить перегрів обмотки статора АД?
3. До чого призводить зниження/підвищення напруги живлення понад норму при роботі АД?
4. Які має наслідки обрив в обмотці статора АД?
5. Які має наслідки обрив в обмотці ротора АД?
6. Що може призвести до зниження обертового моменту та які це має наслідки при експлуатації АД?
7. Охарактеризуйте способи визначення вивідних кінців обмоток статора АД.

## ЛЕКЦІЯ 2

### Тема 1.2 Пошкодження короткозамкнених обмоток ротора асинхронних двигунів

У АД з короткозамкненим ротором стержні виступають з пазової частини на деяку відстань для того, щоб було з'єднання з короткозамкненими кільцями. У таких обмотках можуть створюватися при роботі значні електродинамічні зусилля, особливо при пуску двигуна. Ці зусилля призводять до розриву стержнів від кілець, тобто до виходу двигуна з ладу. Порушення контакту стержня і кілець призводить до появи вібрацій двигуна. Причиною вібрацій двигуна може також бути роз'єднання стінок пазів стержнями. В цьому випадку переріз стержня зменшується, що призводить до їх переміщення в пазу, тобто до появи вібрацій.

Окрім порушення контакту з'єднання стержнів і кілець в таких двигунах є обриви самих стержнів, особливо якщо обмотка з алюмінію. Обриви у білячих клітках викликають пульсацію струму в обмотці статора, частота якого відповідає частоті ковзання. Частота пульсуючого струму, а також пульсація моменту зі зміною навантаження також змінюється. При цьому відбувається і коливання частоти обертання ротору, воно спостерігається навіть при малих змінах навантаження.

#### 1.2.1 Виявлення і усунення ушкоджень короткозамкнених обмоток

Виявлення і усунення ушкоджень білячих кліток розглянемо в умовах ремонту:

- У розібраному виді зовнішнім оглядом оглядається ротор, несправні стержні замінюють, а розриви між стержнями і кільцями запаюють.
- Якщо виявлений обірваний стержень в пазу, його усувають і стержні перезаливають, якщо обмотка з алюмінію. Але треба пам'ятати: категорично

заборонено перезаливати стержні і кільця старим алюмінієм, оскільки перезаливання їх може привести до появи раковин, повітряних порожнин.

- Якщо зовнішнім оглядом не вдається виявити обірвані стержні, то можна поступати так: дещо висунувши ротор з розточки статора, подати знижену напругу на обмотку статора. Узяти сталеву пластину і провести по зовнішній поверхні ротору. Там, де спостерігатиметься досить сильне деренчання цієї пластини, то вважається, що в цьому місці стержень справний, при пошкодженому – слабке деренчання.

- При виникненні вібрації ротору, що викликано роз'єданням стержнів, можна виконати додаткову операцію : заздалегідь проводять розкарбовування стержнів ротора в декількох місцях, тобто стержень за допомогою цієї операції механічно скріплюється із стінками пазу. При цьому відбувається деформація стержня і міняються технічні показники двигуна. Потім ротор разом з обмоткою нагрівають до температури 75-80<sup>0</sup> С і просочують лаком ФЛ - 98. По віскозиметру ВЗ- 4 перевіряють в'язкість лаку, яка дорівнює 35-50 с.

### 1.2.2 Нагрів і іскріння щіток і контактних кілець

При роботі ЕМ нерівномірний розподіл струму між щітками може викликати іскріння і нагрів щіток і контактних кілець. Причини:

- 1) перевантаження по струму;
- 2) бруд і зависання в обоймах щікотримачів;
- 3) збільшений коефіцієнт тертя;
- 4) жорсткі канатики щіток;
- 5) неправильний вибір марки щіток;
- 6) вібрація ротору.

Перевантаження по струму. Обслуговуючий персонал періодично по вимірювальних приладах контролюють навантаження АД з фазним ротором і не допускають перевантаження, що доводить до іскріння щіток.

Бруд і зависання в обоймах щіткотримачів. При технічному обслуговуванні треба періодично протягати щітки в обоймах щіткотримачів і періодично продувати щітковий апарат сухим стислим компресорним повітрям під тиском 0,2 МПа (2 атм ).

Збільшений коефіцієнт тертя. Щітки із збільшеним коефіцієнтом тертя швидко спрацьовуються і перегрівають щітковий апарат, а також контактні кільця навіть при номінальному навантаженню. Для зменшення коефіцієнту тертя в умовах ремонту дозволяється просочувати щітки в різних складах.

Жорсткі канатики щіток. Канатики необхідно перепаяти і усунути інші порушення контактів в колі фазного ротору.

Вібрація ротора. При вібрації двигуна треба виявити причину даного явища. Це може бути: розцентровка валів двигуна і робочого механізму; ушкодження у фундаментних плитах; порушення балансування ротора. Усе це призводить до відриву щіток від кілець, а значить, до іскріння.

#### Контрольні запитання:

1. Які причини появи обривів короткозамкнених обмоток роторів АД?
2. Як впливає обрив стержня КЗ обмотки ротора на роботу АД?
3. Як впливає обрив стержня КЗ обмотки ротора на параметри та характеристики АД?
4. Які є способи усунення обривів та тріщин короткозамкнених обмоток роторів АД?
5. Які причини виникнення іскріння контактних кілець та щіток?

## ЛЕКЦІЯ 3

### Тема 1.3 Електричні відмови в синхронних машинах (СМ)

#### 1.3.1 Підвищений нагрів активної сталі якоря СМ

Підвищений нагрів активної сталі якоря СМ може виникнути через перевантаження ЕМ, від замикання в листах шихтованої сталі осердя (при слабкому пресуванні на заводі-виробника). При слабкому пресуванні осердя спостерігається переміщення шихтованих листів сталі з частою перемагнічування 100 Гц, а також підвищена вібрація активної сталі. Це призводить до стирання ізоляції і замикання листів в сердечнику якоря. При цьому підвищується величина вихрових струмів, підвищуються магнітні втрати та нагрів активної сталі, спостерігається розширене замикання листів осердя. Залежно від площі замикання може виникнути явище "пожежа в залізі", що призводить до значного перегрівання ізоляції листів аж до повного її знищення. Явище найсильніше проявляється у великих СМ, особливо в турбогенераторах.

Позбавитися від цих явищ можна таким чином:

- Великі СМ, як правило, забезпечуються вимірними амперметрами і вольтметрами. Тому обслуговуючому персоналу легко контролювати його навантаження. Нагрів активної сталі можна контролювати в цих машинах за допомогою термопар, встановлених в найбільш нагрітих частинах ЕМ.
- У разі замикання активної сталі, особливо місцевого характеру, це явище виявляється в робочій ЕМ тільки на слух. Виникає вібрація, що зудить, і вона чутна приблизно в тому місці, де сталося замикання. Для усунення треба розібрати ЕМ, зняти підшипникові щити, і на деяку відстань вийняти індуктор з розточки якоря і виконати необхідну роботу по усуненню несправності. Потім для ущільнення сталі в зубці осердя забивають клини з текстоліту, заздалегідь змащені в одному з лаків (№88,

МЛ-92 і т.п.). Перед розклиновкою листів обов'язково сердечник продути свіжим компресорним повітрям.

Якщо в СМ виникло замикання і оплавлення заліза в зубцях, то пошкоджені ділянки ретельно вирубують, зачищають, а між листами заливають лак повітряної сушки, після чого листи розклинають. Якщо після цього вібрація, що зудить, не проходить, необхідно повторити розклиновку листів осердя до повного зникнення вібрації.

У високовольтних СМ якість ремонту перевіряють за допомогою індукційного методу.

### 1.3.2 Перегрів обмотки якоря.

Найбільш частою причиною є виткові замикання. При виникненні виткового замикання обмотка якоря ЕМ, що компаундується, наприклад, бітумом, відключається максимальним захистом у зв'язку зі збільшенням струму в обмотці якоря. У місцях ушкодження обмотки якоря бітум нагрівається і заповнює пошкоджені місця обмотки якоря. Через 30 – 40 хвилин бітум застигає і СМ можна запускати. Досвід підтверджує сприятливий результат викладеного порядку ліквідації несправності. Але таке самовідновлення не дає повної гарантії нормальної роботи машини, хоча така ЕМ може ще довго працювати, аж до планового ремонту. У якірних обмотках СМ можуть бути такі ж несправності, які властиві для АМ.

### 1.3.3 Перегрів обмотки збудження.

У відмінності від обмотки якоря, обмотка збудження живиться постійним струмом. Зі збільшенням струму збудження відбувається збільшення струму і в обмотці якоря, що призводить до нагріву обмотки збудження і обмотки якоря. Тому в СМ регулюють струм збудження так, щоб вона працювала в області коефіцієнту потужності, приблизно рівного одиниці, що забезпечує мінімум струму в обмотці якоря і номінального значення струму

збудження. Причиною перегрівання обмотки збудження можуть бути виткові замикання в обмотці, що призведе до збільшення струму обмотки збудження, тобто до її перегрівання. Причиною замикання може бути усадка і усихання ізоляції котушок обмотки збудження. Це явище призводить до стирання ізоляції, замиканню витків, тобто до перегрівання обмотки збудження.

#### 1.3.4 Несправності в пусковій клітці індуктора.

Пускова клітка, що розташовується на індукторі СМ, призначена для пуску в асинхронному режимі. Пускова клітка знаходиться у важкому режимі, оскільки може перегріватися до температури  $250^{\circ}$  С. Досягши частоти обертання індуктора 95% від номінальної частоти СМ втягується в синхронізм, і струм обмотки якоря досягає мінімального значення. Упродовж усього періоду пуску виникають значні електродинамічні і відцентрові сили, що можуть призвести до розриву місць з'єднання стержнів і кілець, або до обриву стержнів. При цьому СД запустити не вдасться, хоча в цьому випадку спостерігається однаковість струмів в усіх фазах обмотки якоря. Виниклі несправності пускової клітки усуваються пайкою місць з'єднання кілець і стержнів або заміною несправних стержнів. Обов'язково після усунення несправності треба перевірити якість пайки клітки.

Контрольні запитання:

1. Назвіть причини підвищеного нагріву активної сталі якоря СМ?
2. Яким чином можливо запобігти пошкодженню активної сталі якоря СМ?
3. Причини перегріву обмотки якоря СМ?
4. Які є способи відновлення пошкодженої ізоляції обмотки якоря СМ?
5. Наслідки відмови обмотки збудження СМ?
6. Причини виходу з ладу обмотки збудження СМ?
7. Які є несправності в пусковій клітці індуктора?

## ЛЕКЦІЯ 4

### Тема 1.4 Електричні відмови у машинах постійного струму (МПС)

#### 1.4.1 Перегрів обмотки якоря.

Причиною перегрівання обмотки якоря МПС може бути:

- Перегрів машини, пов'язаний з її перевантаженням. Якщо машина працює на малих швидкостях, і при цьому виконана самовентилюючою, то вентиляція порушується і якір перегрівається.

- Колектор, будучи частиною якоря, також сприятиме нагріву ЕМ. Температура колектора також може підвищитися з наступних причин:

а) тривала робота при граничній потужності;

б) неправильно вибрана марка щіток;

в) висока вологість повітря в машинному приміщенні.

- Нерівномірний повітряний проміжок. В цьому випадку в частині обмотки якоря індукуватиметься ЕРС, внаслідок чого в обмотці якоря з'являться зрівняльні струми. При значній нерівномірності повітряного проміжку він є причиною нагріву обмотки якоря і іскріння під щітками.

- Спотворення магнітного поля МПС відбувається за рахунок нерівномірності повітряного проміжку, а також при неправильному включенні обмоток збудження головних і додаткових полюсів, через що виникають зрівняльні струми, які викликають нагрів обмотки якоря і іскріння щіток одного полюсу, більше іншого.

- Забруднення обмотки якоря теплоізолює її, погіршує видалення тепла з обмотки, що сприяє перегріванню обмотки якоря.

#### 1.4.2 Розмагнічування і перемагнічування генераторів.

Генератор постійного струму з паралельним збудженням може бути розмагнічений ще до першого пуску після монтажу. Генератор, який знаходиться в експлуатації, розмагнічується, якщо щітки зрушені з геометричної нейтралі по напрямку обертання якоря. Це послабляє основний магнітний потік, що створюється паралельною обмоткою збудження. Розмагнічування, а потім перемагнічування генератора постійного струму з паралельним збудженням можливо при пуску ЕМ, коли магнітний потік якоря перемагнічує головні полюси і міняє полярність в обмотці збудження. Це відбувається у тому випадку, коли при пуску ГПС виявляється підключеним до живлячої мережі. Для отримання певної величини потоку залишкового магнетизму і відновлення роботи машини, генератор постійного струму підмагнічують. Для отримання залишкового магнітного потоку обмотку збудження підключають до джерела постійної напруги і пропускають по обмотці збудження невелику величину струму (приблизно декілька десятків мА).

#### 1.4.3 При пуску двигуна його частота обертання надмірно зростає.

До таких несправностей відносяться:

- Двигун постійного струму зі змішаним збудженням:
  - паралельна обмотка збудження включена зустрічно з послідовною обмоткою збудження. Це призводить до послаблення основного магнітного потоку і над-мірного зростання частоти обертання двигуна, двигун йде "в рознесення";
  - щітки зсунуті з геометричної нейтралі проти напрямку обертання якоря. Це діє на двигун розмагнічуючи, що призводить до послаблення магнітного потоку, а, значить, до збільшення частоти обертання. Щітки треба встановити на геометричній нейтралі.
- Двигун постійного струму з послідовним збудженням.

У цих двигунах категорично заборонено здійснювати роботу при неробочому ході, оскільки у цьому режимі частота обертання такого двигуна різко зростає. Тому обов'язково на валу повинно бути деяке навантаження, що приблизно становить 20-25% від номінального. Наявність виткових замикань в паралельній обмотці збудження призводить до зменшення величини магнітного потоку, тобто до зростання частоти обертання. Замкнуті витки певних котушок необхідно замінити або перепаяти. Можливі і інші несправності:

- щітки зсунуті з геометричної нейтралі по ходу обертання двигуна. Це сприяє підмагнічуванню ЕМ, тобто, збільшенню магнітного потоку і зменшенню частоти обертання якоря. Треба встановити щітки на геометричній нейтралі;

- обрив або виткові замикання в обмотці якоря. Частота обертання якоря зменшується або якір не може обертатися. При цьому слід пам'ятати, що при обриві в обмотці якоря колекторні пластини через два полюсних ділення вигорають. Це пояснюється тим, що при обриві в обмотці якоря в одному місці напруга і струм під щіткою подвоюється. При розриві в двох місцях напруга і струм під щіткою потроюється і так далі. Тому така ЕМ має бути відразу відключена від мережі.

#### 1.3.4 Двигун "гойдає" при послабленні магнітного потоку в обмотці збудження.

Двигун постійного струму працює до певної частоти обертання, після чого, якщо ослабити магнітний потік, частота обертання двигуна різко зростає, струм в обмотці якоря теж зростає, і двигун може потрапити в "режим гойдання". В цьому випадку можливі несправності:

- щітки зсунуті з геометричної нейтралі проти напрямку обертання якоря. В цьому випадку потік якоря діє розмагнічуючи на потік збудження, і в

результаті потік зменшується, частота обертання зростає, що призводить до двигун в "режим гойдання";

- при змішаному збудженні послідовна обмотка збудження включена зустрічно паралельній обмотці збудження. Це також призведе до послаблення магнітного потоку і попаданню двигуна в "режим гойдання".

Приклад: При експлуатації в двигуні постійного струму потужністю  $P=5000$  кВт змінили повітряний проміжок з 7 мм до 4,5 мм і експлуатували машину при частоті обертання 70-75% від номінальної. Потім при цьому повітряному проміжку вирішили збільшити частоту обертання до 90-95% від номінального значення. Це призвело до різкого зростання частоти обертання і струму, причому спостерігалось значне гойдання частоти обертання. Тому довелося збільшити повітряний проміжок до 7 мм.

Потрібно пам'ятати, що, особливо у великих машинах, не можна допускати "режиму гойдання".

#### 1.4.5 Перегрів машини постійного струму.

Перегрів МПС може бути викликаний:

- При перевантаженні машини відбувається загальний її нагрів за рахунок значного нагріву обмоток якоря, серієсної обмотки, компенсаційної обмотки, обмотки додаткових полюсів, обмотки збудження. Контроль за навантаженням можна здійснювати за допомогою амперметра, а нагрів - за допомогою датчиків (термопар), що включаються в найбільш нагріті місця ЕМ.

- Нагрів ЕМ може бути викликаний високою температурою приміщення, де вона встановлюється. Це може бути пов'язано з порушенням системи вентиляції приміщення. Необхідно перевірити дану систему вентиляції.

- Нагріву сприяє бруд (пил), який потрапляє в процесі роботи в ЕМ. Відповідно дослідженням пил завтовшки 0,9 мм на обмотці якоря призводить до підвищення температури на  $10^0$  С.

Контрольні запитання:

1. Які є причини перегрівання обмотки якоря МПС?
2. Охарактеризуйте електричні причини іскріння обмотки якоря МПС?
3. Охарактеризуйте механічні причини іскріння обмотки якоря МПС?
4. Чому двигуни постійного струму із послідовним збудженням не рекомендується запускати з мінімальним навантаженням на валу?
5. Як і чому впливає зміна повітряного проміжку на ступінь іскріння МПС?
6. Як впливає зсув щіток з геометричної нейтралі на ступінь іскріння МПС?
7. Які є причини перегріву обмотки якоря МПС?
8. Які є причини перегріву обмотки збудження МПС?

## ЛЕКЦІЯ 5

### Тема 1.5 Іскріння щіток в машинах постійного струму

Причини іскріння щіток в МПС можна розділити на:

- механічні;
- електромагнітні.

Механічні причини не залежать від навантаження. Іскріння щіток можна понизити або підвищити, змінюючи тиск на щітки. Якщо це можливо, зменшуючи окружну швидкість якоря.

При механічному іскрінні іскри зеленого кольору поширюються по усій ширині щітки і підгар колекторних пластин безладний.

Механічне іскріння щіток може бути викликане:

- місцевим або загальним биттям колектора;
- задирками на поверхні колектора;
- подряпинами на поверхні колектора;
- слюдою, що виступає;
- поганою продорожкою колектора.
- тугою або слабкою посадкою щіток в обоймах щіткотримачів.

Електромагнітні причини, що викликають іскріння, змінюються пропорційно навантаженню і мало залежать від частоти обертання якоря. Це іскріння має біло-блакитний колір, підгар колекторних пластин носить закономірний характер, по якому можна визначити причину іскріння :

- якщо в обмотці якоря і зрівнювачах станеться замикання або порушиться пайка, або виникне обрив, іскріння буде нерівномірним, а колекторні пластини, що підгоріли, розташовуються на відстані одного полюсного ділення;

- якщо щітки одного полюсу іскрять сильніше за іншого, це означає, що сталося виткове замикання в обмотці збудження або в додаткових полюсах, або

неправильно розташовані щітки, або вибрані щітки шириною більше за допустиму.

У МПС можуть спостерігатися і інші несправності:

- зсув щіткової траверси з геометричної нейтралі, що призводить до іскріння щіток і колектора;

- деформація ковзаючої поверхні колектора викликає вібрацію, відрив щіток, що призводить до іскріння;

- несиметрія магнітного поля викликає зниження порогу реактивної ЕРС, погіршує комутуючу здатність ЕМ, що призводить до іскріння щіток і колектора.

### **1.5.2 Механічні відмови в ЕМ**

До них відносяться:

- Вигин валу, ушкодження пазу шпонки. Ці несправності частіше всього проявляються в ЕМ потужністю до 25 кВт, в яких вал ЕМ і робочого механізму жорстко сполучені за допомогою муфти. При ушкодженні пазу шпонки дефект проявляється у вигляді переміщення муфти і викиду червоного порошку від контактної корозії.

Несправності усувають за допомогою центрування валів ЕМ і робочого механізму. Якщо вал зігнутий, а паз шпонки зруйнований і не підлягає ремонту, то двигун замінюють на резервний, а непридатний відправляють на ремонт.

- Послаблення кріплення осердя якоря великої машини (МПС) до остову за допомогою круглих штифтів. В цьому випадку штифти по торцям заварюються електрозварюванням. В процесі роботи відбувається послаблення штифтів, тобто вірогідність появи в них тріщин. Спостерігається викид червоного порошку від контактної корозії. При розвантаженні ЕМ в ній прослуховується стук за рахунок переміщення осердя машини. Тоді необхідно замінити ЕМ на резервну.

- Підвищення нагріву ЕМ може бути викликане скупченням мікроорганізмів в системі вентиляції, тому періодично необхідно проводити технічне обслуговування системи вентиляції.

- Бракети щіткової траверси плавають, геометрична нейтраль зміщується, що призводить до порушення комутації. Несправність ліквідовується, якщо у бракети встановити текстолітові прокладки, що дозволять створити жорстке кільце для щіткової траверси.

#### Контрольні запитання:

1. Які є причини іскріння щіток в МПС?
2. Охарактеризуйте електричні причини іскріння обмотки якоря МПС?
3. Охарактеризуйте механічні причини іскріння обмотки якоря МПС?
4. Як відрізнити іскріння щіток при механічних та електричних причинах виникнення іскріння?
5. Що відноситься до механічних відмов ЕМ?
6. Яким чином усувають несправності, пов'язані із механічним вигином валу?
7. Як впливає стан системи вентиляції на температурний стан ЕМ?

# РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

## Тема 2.1 Основні завдання експлуатації.

Під експлуатацією ЕМ розуміють сукупність заходів, пов'язаних з вибором їх за призначенням, з технічним обслуговуванням, зберіганням, транспортуванням та ремонтом.

Основне завдання експлуатації - добитися безперебійної, надійної і якісної роботи ЕМ, щоб забезпечити найкращі техніко-економічні показники і підвищити надійність.

Головне завдання: підтримувати ЕМ в справному стані на увесь період експлуатації, забезпечуючи безперебійну і економічну роботу.

Для здійснення завдання необхідно проводити планово-попереджувальні ремонти (ППР) і профілактичні випробування (огляди). Важливим показником експлуатації ЕМ є її надійність.

Необхідно пам'ятати: для не ремонтованих ЕМ показником надійності приймається вірогідність безвідмовної роботи або термін служби. Для ремонтованих ЕМ показником надійності є вірогідність безвідмовної роботи або напрацювання на відмову.

### 2.2.1 Структура управління електрогосподарством підприємства.

Система ППР електроустаткування передбачає вибір і застосування раціональної форми організації, експлуатації, що включає технічне обслуговування і ремонт ЕМ. Загальним керівництвом технічного обслуговування і ремонту займається відділ головного енергетика. У цьому відділі є підрозділ, очолюваний заступників головного енергетика по

електротехнічній частині. Підрозділ організовує і контролює ремонт і експлуатацію ЕМ. Організаційна структура такого підрозділу показана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура електроремонтного підприємства

Електротехнічні служби цехів :

- технічне обслуговування і поточний ремонт електроустаткування;
- розробка і видача заявок на матеріально-технічне постачання цехів;
- організовують виконання графіку ППР;
- забезпечують усім особам, обслуговуючим електроустаткування, проведення заходів по техніці безпеки і експлуатації електроустаткування;
- приймають участь в розробці організаційно-технічних заходів по експлуатації устаткування цеху, його модернізації або заміні.

### Бюро планування ремонтів:

- здійснює методичне керівництво по організації і проведенню ППР, проводить контроль за їх виконанням;
- розробляє заходи по ефективному використанню виробничих потужностей і планів на перспективу;
- забезпечує організацію і контроль за виконанням графіків ППР.

### Лабораторія надійності:

- виявляє недоліки в електроустаткуванні, розробляє заходи по їх усуненню, контролює впровадження технічних рішень, спрямованих на поліпшення роботи електроустаткування.

Лабораторія працює по затвердженим планам і щомісячно звітує про свою роботу перед головним енергетиком або його заступником.

### Електротехнічна лабораторія:

- виконує ремонт і проводить перевірку засобів захисту і автоматики;
- проводить налагоджувальні роботи і випробування електроустаткування під час капітальних ремонтів;
- проводить профілактичні випробування;
- спільно з пуско-налагоджувальними організаціями розробляє програми наладки великих об'єктів і їх введення в експлуатацію.

### Електроремонтний цех:

- виконує поточний, середній і капітальний ремонт електроустаткування;
- виготовляє додаткові частини електроустаткуванню;
- розробляє заходи по підвищенню міжремонтних періодів і проводить модернізацію електроустаткування;
- розробляє і впроваджує новітні технології ремонту.

### Контрольні запитання:

1. У чому полягає головне завдання експлуатації електричних машин?
2. Охарактеризуйте структуру електроремонтного підприємства.
3. Які функції виконуються електротехнічною службою цехів?

4. Які функції виконуються бюро планування ремонту?
5. Які функції виконує лабораторія надійності?
6. Які функції виконує електротехнічна лабораторія?
7. Які функції виконує електроремонтний цех?

### Тема 2.2 Зберігання і транспортування ЕМ

#### 2.2.1 Умови зберігання і транспортування ЕМ

ЕМ із заводу-виробника поступає до замовника і з цієї миті починається процес її експлуатації.

Перед установкою ЕМ або пристрій, в якому вона працює, з бігом певного часу зберігається на складах в транспортній упаковці. За умовами зберігання на складах ЕМ діляться на групи:

- Л – легка;
- С – середня;
- Ж – жорстка;
- ОЖ - особливо жорстка.

У свою чергу, група Ж ділиться на підгрупи: Ж1, Ж2, Ж3.

ОЖ ділиться на підгрупи: ОЖ1, ОЖ2, ОЖ3, ОЖ4.

Розглянемо ці групи.

Легка. Для неї використовуються опалювані (охладжуючі) або вентилявані склади, які розташовані в усіх кліматичних районах. Температура повітря складає  $t^0 = +40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 80% при температурі до  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  без конденсації вологи.

Середня. Закриті або інші приміщення з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, розташовані в районах з помірним і холодним кліматом, в яких коливання вологості і температури повітря істотно менше, ніж на відкритому повітрі. Температура повітря складає  $t^0 = +40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 90% при температурі до  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  без конденсації вологи.

Жорстка 1. Відкриті майданчики з помірним і холодним кліматом. Температура повітря складає  $t^0 = +50^{\circ}\text{C} \dots -50^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 100% при температурі до  $25^{\circ}\text{C}$  з конденсацією вологи.

Додаткові умови: сонячна радіація  $1125\text{Вт}/\text{м}^2$  з інтенсивністю дощу до 3 мм/хв., наявність пилу.

Жорстка 2. Навіси і інші приміщення, розташовані в районах з помірним і холодним кліматом, в яких коливання температури і вологості повітря несуттєво відхиляються від їх коливань на відкритому повітрі. Температура повітря складає  $t^0 = +50^{\circ}\text{C} \dots -50^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 100% при температурі до  $25^{\circ}\text{C}$  з конденсацією вологи.

Додаткові умови : наявність пилу.

Жорстка 3. Закриті або інші приміщення з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, розташовані в районах з тропічним кліматом. Коливання температури і вологості повітря істотно менше, ніж на відкритому повітрі. Температура повітря  $t^0 = +50^{\circ}\text{C} \dots -50^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 100% при температурі до  $35^{\circ}\text{C}$  з конденсацією вологи.

Додаткові умови: наявність пилу, дереворуйнівних грибків і плісняви, сонячна радіація  $1125\text{Вт}/\text{м}^2$  з інтенсивністю дощу до 5 мм/хв.

Особливо жорстка 1. Відкриті майданчики у будь-яких кліматичних районах, у тому числі в районах з тропічним кліматом. Температура повітря  $t^0 = +60 \dots -50^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 100% при температурі до  $35^{\circ}\text{C}$  з конденсацією вологи.

Додаткові умови : наявність пилу, дереворуйнівних грибків і плісняви, сонячна радіація до  $1125\text{Вт}/\text{м}^2$  з інтенсивністю дощу до 5 мм/хв.

Особливо жорстка 2. Навіси або інші приміщення, де коливання температури і вологості повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі, і розташовані у будь-яких кліматичних умовах, у тому числі в районах з тропічним кліматом. Температура повітря  $t^0 = +60^{\circ}\text{C} \dots -50^{\circ}\text{C}$ . Відносна вологість 100% при температурі до  $35^{\circ}\text{C}$  з конденсацією вологи.

Додаткові умови ті ж, що і для ОЖ1.

Особливо жорстка 3. Відкриті майданчики і інші приміщення з помірним і холодним кліматом в забрудненій атмосфері. Температура повітря  $t^0 = +50$  °С...-50 °С. Відносна вологість 100% при температурі до 25 °С з конденсацією вологи.

Додаткові умови: наявність пилу, дереворуйнівних грибків і плісняви.

Особливо жорстка 4. Навіси або інші приміщення, розташовані в районах з помірним або холодним кліматом, в яких коливання температури і вологості повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі. Температура повітря  $t^0 = +50$  С...-50°С. Відносна вологість 100% при температурі до 25°С з конденсацією вологи.

Додаткові умови: наявність пилу.

#### 2.2.2 Загальний термін зберігання і транспортування ЕМ

Термін зберігання і транспортування ЕМ в транспортній упаковці не повинен перевищувати 2 роки – в особливо жорстких умовах; 3 роки – в жорстких; 5 років – в легких і середніх. При розміщенні на зберігання в транспортній упаковці дана упаковка розкривається, перевіряється схоронність внутрішньої упаковки, консервація і наявність ЕМ та її складових. Всі пошкодження внутрішньої упаковки і консервації відновлюються. При складуванні ЕМ та його частин масою до 500 кг їх розміщують на стелажах. Розміщення на зберігання різних типів ЕМ проводять таким чином:

- СМ і АМ з фазним ротором у зібраному вигляді: групи С і ЖЗ;
- МПС у зібраному вигляді: групи Л і ЖЗ.
- стоякові підшипники, траверси роторів машин, ротора машин змінного струму, якоря МПС, щити управління, станції управління низької напруги: групи Л і ЖЗ;
- фундаментні плити: групи Ж2 і ОЖ2.

Електрообладнання від заводу до замовника може транспортуватися залізницею, автотранспортом. На місцях монтажу транспортування забезпечується таліями, автокарами, вантажопідійомниками і т.п.

### 2.2.3 Класифікація приміщень з електроустановками та розміщення електроустаткування

Класифікація приміщень з електроустановками з ЕМ проводиться за рівнем застосовуваної напруги. Розрізняють установки до 1000 В і понад 1000 В. У відношенні можливості ураження обслуговуючого персоналу струмом промислові підприємства з електроустановками діляться на:

■ **Приміщення з підвищеною небезпекою**, що характеризуються наявністю однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку:

- сирість, відносна вологість не менше 70% або наявність струмопровідного пилю;
- наявність струмопровідних підлог (земляні, цегляні, залізобетонні і т.п.);
- високою температурою (довгостроково перевищує  $t_0 = +30^{\circ} \text{C}$ );
- можливість одночасного дотику обслуговуючого персоналу з одного боку до заземлених частин будівлі, а з іншого - до металевих частин електроустаткування.

Для можливості монтажу та експлуатації ЕМ приміщення з електроустановками повинні задовольняти ряду вимог:

- відстань між транспортуваними елементами електрообладнання та елементами будівлі - не менше 0,3 м по вертикалі і 0,5 м по горизонталі. Ширина проходу між фундаментами або корпусами машин, між машинами і частинами будівлі - не менше 1м;
- ширина проходу для обслуговування між ЕМ і щитами управління не менше 2м;

- при відкритих дверцятах щитів управління ця відстань повинна бути не менше 0,6 м для установок з напругою до 1000В.

- ЕМ повинні бути розташовані так, щоб вони не викликали шуму і вібрації, а їх величина не перевищувала значень допустимих норм;

- приміщення, в яких розташовується електрообладнання, повинні мати площадки, призначені для монтажу та ремонту електроустаткування.

■ **Особливо небезпечні приміщення**, що характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку:

- особливої вологості (відносна вологість 100%, стіни і предмети покриті водою);

- хімічно активним та органічним середовищем, що руйнує ізоляцію і струмоведучі частини;

- одночасної наявності двох або більше умов підвищеної небезпеки.

■ **Приміщення без підвищеної небезпеки**, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

### Тема 2.3 Вибір електродвигунів

Процедура вибору електродвигунів полягає в задоволенні ряду вимог споживача. Вибір полягає у переборі можливих варіантів, у тому числі:

- за родом струму і напруги;
- конструктивному виконанню;
- за рівнем шуму та вібрації;
- за потужності;
- за режимом роботи.

#### *2.3.1 За родом струму і напруги.*

Двигуни постійного струму вибираються в тих випадках, коли двигуни змінного струму не забезпечують необхідних енергетичних показників робочого механізму, або вони не економічні. При цьому, для двигунів з тривалим режимом роботи та не частими включеннями і малими навантаженнями при пуску найбільш оптимальними є синхронні двигуни. Застосування синхронних двигунів дозволяє забезпечити високі енергетичні показники в процесі експлуатації. МПС виготовляються на одну номінальну напругу. АМ – на одну або дві номінальні напруги. СМ – на одну номінальну напругу. При цьому двигуни повинні забезпечити номінальну потужність при відхиленні напруги в деякому діапазоні. Знання цього діапазону особливо важливо при виборі двигуна, що працює в автономних мережах, для якого потужність мережі може бути порівняна з потужністю ЕМ.

#### *2.3.2 За конструктивним виконанням.*

При виборі конструктивного виконання двигуна потрібно враховувати умови його експлуатації, а саме: вплив зовнішніх факторів, навколишнього середовища, а також спосіб охолодження і виконання двигуна за способом

монтажу. Відповідно до Держстандарту ГОСТ 15150-85 розрізняють такі категорії кліматичного виконання ЕМ:

1. ЕМ, призначені для експлуатації на суші, річках, озерах, в мікрокліматичних районах:

- з помірним кліматом (П);
- з холодним кліматом (Х, ХЛ (ПХЛ));
- з вологим тропічним кліматом (ТВ);
- з сухим тропічним кліматом (ТС);
- як із сухим, так і з вологим тропічним кліматом (Т);
- для всіх макрокліматичних районів на суші (загальнокліматичне виконання) (З).

2. ЕМ, призначені для експлуатації в макрокліматичних районах з морським кліматом:

- з помірно-морським кліматом (М);
- з морським тропічним кліматом, в тому числі і на суднах каботажного плавання (ТМ);
- на суднах необмеженого району плавання (помірний і морський тропічний клімат) (ОМ).

3 ЕМ, призначені для всіх макрокліматичних районів на суші і на воді (В).

Атмосфери, що оточують ЕМ поділяються на такі типи (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

### Атмосфери, що оточують ЕМ

Позначення	Тип атмосфери	Зміст корозійно-активних агентів	
	найменування	сірчистий газ (мг/м <sup>3</sup> на добу)	Хлориди (мг/м <sup>3</sup> на добу)
1	Умовно-чиста	до 20	менше 0,3
2	Промислова	20-110	менше 0,3
3	Морська	до 20	30...300

4	Приморськ о-промислова	110-200	0,3...30
---	---------------------------	---------	----------

Крім кліматичного виконання ЕМ поділяються на 5 категорій розміщення:

1 Категорія, призначена для експлуатації ЕМ на відкритому повітрі.

2 Категорія, призначена для експлуатації на відкритому повітрі, де коливання температури і вологості несуттєво відрізняються від коливань в приміщеннях.

3 Категорія, в якій ЕМ призначені для експлуатації в закритих приміщеннях з природною циркуляцією повітря без штучного регулювання.

4 Категорія, в якій ЕМ призначені для експлуатації в приміщеннях з штучно регульованими кліматичними умовами (наприклад, у закритих не опалювальних приміщеннях).

5 Категорія, в якій ЕМ призначені для експлуатації в приміщеннях з підвищеною вологістю (не опалювальні, не вентилязовані приміщення).

Відповідно до Держстандарту ГОСТ 17494-85 ЕМ діляться на ступені захисту: ЕМ, встановлювані в різних приміщеннях повинні мати наступну ступінь захисту:

1 Приміщення з нормальним середовищем – IP00, IP20.

2 На відкритому повітрі, не нижче IP24.

3 В приміщеннях з активними парами, пилом, які порушують природне охолодження (не нижче IP44).

4 У вологих і особливо вологих приміщеннях, не нижче IP43.

Особливо слід відзначити і звернути увагу на вибір виконання двигунів при установці їх у пожежонебезпечних та вибухонебезпечних зонах.

**Пожежонебезпечною зоною** називають простір усередині або поза приміщенням, в межах якого постійно або періодично знаходяться горючі речовини.

Розрізняють чотири пожежонебезпечні зони: П-I, П-II; П-IIa; П-III.

Охарактеризуємо кожну з них:

П-I - зони в приміщеннях, в яких утворюються горючі рідини з температурою спалаху понад  $61^{\circ}\text{C}$ ;

П-II- зони в приміщеннях, в яких виділяється пил з нижньою концентраційною межею займання більш  $65\text{ г / м}^3$  об'єму повітря;

П-IIa - зони в приміщеннях, в яких обертаються горючі тверді речовини;

П-III- зони в приміщеннях, в яких обертаються рідини з температурою спалаху понад  $61^{\circ}\text{C}$  або тверді горючі речовини;

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу застосовують ЕМ з напругою до 10 кВ за умови, що ступінь захисту повинна бути не нижче IP44.

**Вибухонебезпечною зоною** є простір або приміщення, в якому є або можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші (суміш повітря з горючим газом; наявність парів легкозаймистих рідин (ЛЗР)).

Для експлуатації двигунів у вибухонебезпечних зонах застосовуються вибухозахищені ЕМ.

Вибухонебезпечні зони класифікуються на класи В-I; В-Ia; В-Iб; В-1г; В-II; В-IIa.

Охарактеризуємо кожну з них:

В- I - зони в приміщеннях, в яких виділяються горючі гази і пари ЛЗР з такими властивостями, що вони можуть утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші при нормальних режимах роботи;

В-Ia - зони в приміщеннях, в яких небезпечний стан, який може спостерігатися для класу В-I не може мати місце, а вибухонебезпечні

суміші можуть утворюватися при аварії та несправностях електрообладнання;

В-Іб - зони в приміщеннях, що і для В-Іа, але відрізняються однією з таких особливостей:

- горючі гази утворюються з високою (низькою) концентраційною межею займання (1% та більше), а також різким запахом;

- приміщення виробництв, пов'язані з виробництвом газоподібного водню, в приміщеннях яких утворення вибухонебезпечної суміші в об'ємі, що перевищує 5% вільного об'єму приміщення, виключається;

- в лабораторних і інших приміщеннях, в яких горючі гази і ЛЗР є в невеликих кількостях і недостатні для створення вибухонебезпечної суміші в зоні, що перевищує 5% вільного об'єму приміщення;

В-Іг - зони в приміщеннях або зовнішніх установок, у яких можуть міститися горючі гази або ЛЗР;

В-ІІ - зони в приміщеннях, в яких виділяються перехідні у зважений стан горючі пили в такій кількості і з такими властивостями, що здатні утворювати вибухонебезпечні суміші при нормальних режимах роботи;

В-ІІа - зони в приміщеннях, які властиві зоні В-ІІ, але можуть утворювати вибухонебезпечні суміші при аваріях або несправностях електрообладнання.

### *2.3.3 За способом монтажу*

При виборі двигуна необхідно, щоб його робоче положення (горизонтальне, вертикальне, нахилене), спосіб кріплення (до фундаменту, виробничому механізму, вбудовані) з виконанням вихідного валу і їх кількістю повинні відповідати одному з конструктивних виконань відповідно до Держстандарту ГОСТ 2479-85.

Контрольні запитання:

1. В чому полягає процедура вибору електродвигунів?

2. Чому синхронні машини виготовляються лише на одну номінальну напругу?

3. В чому полягає процедура вибору електродвигунів за родом струму і напруги?

4. В чому полягає процедура вибору електродвигунів за конструктивним виконанням?

5. Які конструктивні особливості мають електричні машини виготовлені для роботи у вибухонебезпечних зонах?

6. Які конструктивні особливості мають електричні машини виготовлені для роботи у пожежонебезпечних зонах?

7. В чому полягає вибір електродвигуна по способу монтажу?

# ЛЕКЦІЯ 10

## Тема 2.4 Вибір електродвигунів: по рівню вібрації і шуму та по потужності

### 2.4.1 Вибір двигунів по класу вібрації

Відповідно до Держстандарту ГОСТ 16921-83 для двигунів загальнопромислового призначення встановлюються наступні класи вібрацій:

- для  $h < 80$  мм: 1,1,
- для  $80 < h < 132$  мм:  $1,8 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$  ;
- для  $132 < h < 225$  мм:  $2,8 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$  ;
- для  $h > 225$  мм:  $4,5 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$  .

Для малошумних двигунів і двигунів з підвищеною точністю, а також приводів поліграфічних машин встановлюються класи вібрацій на один нижче в порівнянні з двигунами загальнопромислового призначення: 0,7; 1,1; 1,8;  $2,8 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$  . Для двигунів з особливими вимогами по вібрації і надійності встановлюються класи вібрацій на два нижче в порівнянні з двигунами загальнопромислового призначення: 0,45; 0,7; 1,1;  $1,8 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$  .

### 2.4.2 Вибір двигунів за рівнем шуму

Відповідно до Держстандарту ГОСТ 16372-83Е встановлюються п'ять класів: 0, 1, 2, 3, 4.

Клас "0" - для двигунів, що працюють в короткочасному і повторно-короткочасному режимах (S2 ... S8) по Держстандарту ГОСТ 183-75, а також для двигунів зі способом охолодження IC03, IC13 (Держстандарт ГОСТ 20459-75): багатошвидкісні асинхронні двигуни з підвищеним ковзанням, асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом.

Клас "1" - електричні машини постійного та змінного струму загальнопромислового призначення.

Клас "2" - ЕМ з малошумними підшипниками, малошумними вентиляторами і т.п.

Клас "3" - ЕМ з зниженим використанням активних матеріалів (закриті, а також з глушниками вентиляційного шуму).

Клас "4" - ЕМ з звукоізолюючим кожухом.

Рівень шуму в ЕМ залежить від потужності машини і частоти обертання. Чим вищі ці показники, тим вище рівень шуму.

### *2.4.3 Вибір двигунів по потужності*

Від правильного вибору двигуна по потужності залежить надійність його роботи в електроприводах і енергетичні показники в процесі експлуатації.

Якщо двигун працює з навантаженням, меншим номінального, то він буде недовикористаним, тобто його енергетичні показники будуть заниженими. Якщо навантаження буде більше номінального, то це призведе до збільшення втрат, внаслідок чого температура (перевищення температури) обмоток і магнітопроводу значно перевищать припустимі значення. Це призведе до передчасного старіння ізоляції, зниження надійності і зменшення терміну служби. Тому одним з основних критеріїв вибору двигуна по потужності є температура або перевищення температури обмоток.

Завдання вибору двигуна по потужності ускладнюється тим, що навантаження на його валу в процесі експлуатації не залишається постійним, а змінюється в часі, внаслідок чого змінюються втрати, а значить і температура машини. Якщо вибрати двигун з номінальною потужністю, рівної потужності навантаження, то він буде недовикористаний по потужності. Не можна вибирати двигун з номінальною потужністю, рівної мінімальній потужності навантаження. Тому при виборі двигуна по

потужності необхідно знати характер зміни навантаження двигуна в часі, тобто залежність потужності або втрат у часі.

З цією метою для ЕМ, що працюють в режимі S2...S8 будується навантажувальна діаграма, що представляє собою залежність навантаження електроприводу від часу усього робочого циклу.

Залежність зміни навантаження від часу дозволяє судити про зміну втрат в електроприводах, а також в самому двигуні, що дає можливість оцінити температуру окремих частин машини при відомому характері процесу їх нагрівання. Такий підхід дозволяє вибрати двигун таким чином, щоб його максимальна температура не перевищувала допустимої величини. Це перша основна умова вибору двигуна, що забезпечує надійну роботу в процесі експлуатації.

Друга основна умова полягає в тому, що він повинен забезпечити певну величину перевантажувальної здатності, щоб забезпечити стійку роботу в періоди максимальних навантажень або аварійного зниження напруги живлення. Таким чином для правильного вибору двигуна необхідно мати точну залежність навантаження від часу, на базі якої можна розрахувати втрати в окремих частинах машини. Потім необхідно провести перевірочний тепловий розрахунок з урахуванням більшості випадків перехідних процесів (пуск, реверс, електричне гальмування), на підставі якого можна зробити висновок про правильність вибору даного двигуна. Якщо максимальна температура виявилася менше допустимої, то слід проаналізувати можливість застосування двигуна меншої потужності або навпаки. Якщо в тепловому відношенні двигун задовольняє технічним умовам, то двигун перевіряють за умовами перевантажувальної здатності і пусковим властивостям.

Контрольні запитання:

1. В чому полягає процедура вибору двигунів по класу вібрації?
2. Які класи вібрацій існують?

3. Чим відрізняється виконання двигуна із пониженим рівнем вібрації?
4. В чому полягає процедура вибору двигунів за рівнем шуму?
5. Які класи бувають електричних машин по шуму?
6. В чому полягає принцип вибору двигуна по потужності?
7. Які є критерії при виборі двигуна по потужності?
8. Що потрібно враховувати при виборі двигуна по потужності?

# ЛЕКЦІЯ 11

## Тема 2.5 Вибір електродвигунів по потужності для режимів роботи S1...S8

### 2.5.1 Режими роботи ЕМ (Держстандарт ГОСТ 183-75)

Для ЕМ, використовуваних в електроприводах, застосовуються 8 режимів роботи S1...S8. Розглянемо дані режими:

S1 - тривалий.

S2 - короткочасний.

Даний режим характеризується тривалістю періодів включення і роботи в даному режимі: 10, 30, 60, 90 хв.

S3 - повторно-короткочасний.

Даний режим характеризується тривалістю включень і дорівнює 15, 25, 40, 60% тривалості одного циклу.

S4 - повторно-короткочасний з частими пусками.

Тривалість циклу характеризується числом включень в годину 30, 60, 120, 240 і коефіцієнтом інерції  $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4; 6,3; 10$ .

S5 - повторно-короткочасний з частими пусками і електричним гальмуванням. Режим характеризується коефіцієнтом інерції  $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4$ .

S6 - перемежувачий режим роботи при певному навантаженні і частоті обертання, який чергується з режимом неробочого ходу або реверсами при електричному гальмуванні, або з роботою на іншій частоті обертання.

Тривалість вмикань роботи з незмінним навантаженням визначається у відсотках тривалості одного циклу, а саме 15, 25, 40, 60%.

S7 - перемежувачий режим з частими реверсами при електричному гальмуванні, при якому тривалість циклу визначається числом включень в годину 30, 60, 120, 240 при певному коефіцієнті інерції  $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4$ .

S8 - перемежуючий режим з двома і більше частотами обертання, при якому визначена послідовність зміни періодів роботи з незмінним навантаженням при одній частоті обертання, періодами роботи на іншій частоті обертання з іншим, але також незмінним навантаженням, яке відповідає даній частоті обертання. Даний режим характеризується числом включень в годину 30, 60, 120, 240 і коефіцієнтом інерції  $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4$ .

### 2.5.2 Вибір електродвигуна для різних режимів роботи

Методика вибору електродвигуна для різних видів роботи  $S1...S8$  базується на непрямій оцінці температурного стану двигуна на базі зіставлення середніх (еквівалентних) втрат з допустимими, які визначаються режимом тривалого номінального навантаження. Оцінка підвищення температури двигуна через середні сумарні втрати називається методом середніх втрат. Умовою правильності вибору двигуна є умова

$$\Sigma P_{cp} \leq \Sigma P_{ном}, \quad (2.1)$$

де  $\Sigma P_{ном}$  - сумарні втрати двигуна, відповідні номінальному режиму роботи. Середні втрати для змінного навантаження можна визначити за наступним виразом:

$$\Sigma P_{cp} = \frac{1}{T_u} \int_0^{T_u} P(t) dt,$$

а для ступеневого графіку навантаження

$$\Sigma P_{cp} = \frac{1}{T_u} \Sigma P_i t_i,$$

де  $t_i$  - час роботи двигуна при  $P_i$  навантаженні.

Однак умова (2.1) не є умовою вибору двигуна по потужності, а є тільки умовою перевірки, тому що  $\Sigma P_{cp}$  визначається не тільки навантаженням, але і параметрами самого двигуна і робочого механізму. У зв'язку з цим на практиці

при виборі двигуна по потужності використовують метод непрямой оцінки, який полягає у визначенні так званих еквівалентних величин, а саме, еквівалентного струму, еквівалентної потужності, еквівалентного моменту. Знаючи дані величини можна здійснити відповідний вибір двигуна по потужності. У електромеханіці відомо, що всі втрати можна розділити на 2 види:

- 1 Постійні втрати - втрати, які не залежать від навантаження;
- 2 Змінні втрати - втрати, які пропорційні квадрату навантаження.

Тоді постійні втрати і втрати, зумовлені еквівалентним струмом, можна пов'язати наступним виразом:

$$\Sigma P_{cp} = K + R \cdot I_{ek}^2,$$

де  $R$  - активний опір двигуна;  $I_{ek}$  - еквівалентний струм;  $K$  - постійні втрати в двигуні.

Використовуючи дане співвідношення можна вивести співвідношення, що зв'яже еквівалентний струм з реальним струмом двигуна при змінному навантаженні

$$I_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_u} \int_0^{T_u} I^2(t) dt}.$$

Для ступеневого графіку навантаження цей струм дорівнює:

$$I_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_u} \Sigma I_i^2 t_i}.$$

Отримане співвідношення еквівалентного струму можна використовувати для перевірки вибраного двигуна по потужності, а також за умовами нагрівання. Правильність обраного двигуна перевіряється згідно наступного виразу:

$$I_{ek} \leq I_{ном},$$

де  $I_{ном}$  - номінальний струм двигуна.

Якщо момент пропорційний струму за умови сталості магнітного потоку, то вводиться поняття еквівалентного моменту, який можна визначити за такими виразами:

для змінного графіка навантаження

$$M_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_{ц}} \int_0^{T_{у}} M^2(t) dt},$$

для ступеневого графіка навантаження

$$M_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_{ц}} \sum M_i^2 t_i}.$$

Даний метод еквівалентного моменту дозволяє здійснити вибір двигуна по моменту. Однак для цього необхідно мати статистичну навантажувальну діаграму моменту  $M=f(t)$  за умови, що потік залишається постійним.

Умовою правильності вибору двигуна є така умова:

$$M_{ek} \leq M_{ном},$$

де  $M_{ном}$  - момент, відповідний номінальному навантаженню.

Коли потужність двигуна пропорційна току навантаження, за умови незмінності потоку і частоти обертання, можна використовувати поняття еквівалентної потужності. Еквівалентна потужність може бути описана наступними виразами:

для змінного графіка навантаження

$$P_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_{ц}} \int_0^{T_{у}} P^2(t) dt},$$

для ступеневого графіка навантаження

$$P_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_u} \sum P_i^2 t_i} .$$

Даний метод можна використовувати для вибору двигуна по потужності, якщо відома навантажувальна діаграма статичних навантажень  $P=f(t)$  за умови сталості активного опору  $R$ , потоку  $\Phi$  і частоти обертання  $n$ . Правильність вибору визначається наступним співвідношенням:

$$P_{ek} \leq P_{ном} ,$$

де  $P_{ном}$  - потужність двигуна, відповідна номінальному режиму роботи.

Коли в процесі роботи може мати місце помітне погіршення тепловіддачі, пов'язане зі зниженням частоти обертання, вводиться в формули коефіцієнт погіршення тепловіддачі:

$$\beta = \frac{A_i}{A} ,$$

де  $A_i$  та  $A$  - тепловіддача при  $i$ -й і номінальній частотах обертання відповідно.

Для еквівалентних величин з урахуванням погіршення охолодження двигуна формули будуть мати вигляд:

для еквівалентного струму

$$I_{ek} = \sqrt{\frac{\sum (I_i^2 \cdot t_i)}{\sum (\beta_i \cdot t_i)}} ,$$

для еквівалентного моменту

$$M_{ek} = \sqrt{\frac{\sum (M_i^2 \cdot t_i)}{\sum (\beta_i \cdot t_i)}} ,$$

для еквівалентної потужності

$$P_{ek} = \sqrt{\frac{\sum(P_i^2 \cdot t_i)}{\sum(\beta_i \cdot t_i)}}.$$

Коротенько розглянемо особливості розрахунку і вибору двигуна для різних режимів роботи без проведення його перевірного розрахунку.

### 1 Вибір двигуна для режиму роботи S1

Оскільки в цьому випадку тривалість навантаження істотно більша постійної нагріву, доцільно вибрати двигун, для якого виконуються умови

$$M_n \leq M_{ном},$$

$$P_n \leq P_{ном},$$

де  $M_{ном}$ ,  $P_{ном}$  - момент і потужність двигуна, відповідні номінальному режиму.

$M_n$ ,  $P_n$  - момент і потужність навантаження.

Обраний двигун повинен бути перевірений по перевантажувальній здатності

$$M_{max} \geq M_n,$$

і по пусковим властивостям

$$M_n \geq M_n.$$

### 2 Вибір двигуна для режиму S2

Для електроприводів, що працюють в режимі S2, не доцільно вибрати двигуни, що працюють в режимі S1, так як вони, як правило, володіють зниженою перевантажувальною здатністю, в зв'язку з чим виявляються недовикористаними за умовами нагріву.

При виборі двигуна повинні виконуватися такі умови для еквівалентного моменту

$$M_{ek.t_{p.cm}} = \sqrt{\frac{\sum(M_i^2 \cdot t_{pi})}{t_{p.cm}}}$$

і для еквівалентної потужності

$$P_{ek.t_{p.cm}} = \sqrt{\frac{\sum(P_i^2 \cdot t_{pi})}{t_{p.cm}}}$$

Дані вирази повинні виконувати наступні умови

$$M_{ek.t_{p.cm}} \leq M_{ном.t_{p.cm}},$$

$$P_{ek.t_{p.cm}} \leq P_{ном.t_{p.cm}},$$

де  $M_{ном.t_{p.cm}}$ ,  $P_{ном.t_{p.cm}}$  - номінальне значення моменту і потужності

двигуна, відповідні тривалості короткочасної роботи  $t_{p.cm}$ .

При виборі двигуна для режиму S2 треба мати відповідну навантажувальну діаграму.

### 3 Вибір двигуна для режиму S3

Для електроприводів, що працюють в режимі S3, доцільно вибрати двигун, відповідний даному режиму роботи. Для цього режиму роботи вводиться наступна послідовність вибору двигуна за потужністю або моменту:

а) по навантажувальній діаграмі вибирається загальний (повний) час циклу  $T_{\text{ц}} \leq 10$  хв.;

б) орієнтовно визначається тривалість включення

$$ПВ = \frac{\sum t_{pi}}{T_{\text{ц}}} \cdot 100,$$

де  $t_{pi}$  - час роботи при і-му навантаженні всередині робочого циклу;

в) отримане значення тривалості включення приводиться до стандартного значення : 15; 25; 40; 60%;

г) визначається

еквівалентне значення моменту

$$M_{ек.ПВсм} = \sqrt{\frac{\sum(M_i^2 \cdot t_{pi})}{t_{pi}} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{см}}}$$

або еквівалентної потужності

$$P_{ек.ПВсм} = \sqrt{\frac{\sum(P_i^2 \cdot t_{pi})}{t_{pi}} \cdot \frac{ПВ}{ПВ_{см}}}$$

Отримані значення еквівалентних величин повинні задовольняти наступним умовам:

$$M_{ек.ПВсм} \leq M_{ном.ПВсм},$$

$$P_{ек.ПВсм} \leq P_{ном.ПВсм},$$

де  $M_{ном.ПВ.см}$ ,  $P_{ном.ПВ.см}$  - момент і потужність відповідні стандартній тривалості включення.

#### 4 Вибір двигуна для режимів роботи S4, S5

Для електроприводів, що працюють в режимі S4, S5, вибираються двигуни, що працюють в режимі S3. Вибір при цьому ускладнюється тим, що попередньо точна навантажувальна діаграма для цих режимів не може бути визначена, оскільки велику частку втрат складають втрати в перехідному процесі. Останні можуть бути визначені тільки після вибору двигуна по потужності. Тому для даних режимів роботи поступають таким чином: по навантажувальній діаграмі статичних навантажень визначають еквівалентні значення моменту або потужності за вищенаведеними формулами так, як для режиму S3. Потім по каталогу вводиться коефіцієнт запасу, що враховує додаткові втрати від перехідних процесів. Потім для обраного двигуна будують уточнену навантажувальну діаграму, по якій проводять перевірочний розрахунок. Порівняння проводять за каталожними даними двигуна, що працює в режимі S3.

### 5 Вибір двигуна для режимів роботи S6, S7

Для електроприводів, що працюють в режимі S6, S7 доцільно вибирати двигуни, що працюють в режимі S1. Для даних режимів за вищевказаними формулами визначають еквівалентне значення моменту або потужності в залежності від наявної відповідної навантажувальної діаграми. Для режиму S6 по цим формулам може бути здійснений вибір двигуна, тоді як для режиму S7 ці формули використовуються тільки для перевірки вибраного двигуна, так як для цього режиму роботи розрахунок і побудова уточненої навантажувальної діаграми до вибору двигуна неможливий.

### 6 Вибір двигуна для режиму роботи S8

Для електроприводів, що працюють в режимі S8, вибирають двигуни, що працюють в режимі S1. Для цього режиму попередньо визначають еквівалентні значення моменту або потужності. При виборі двигуна для S8 необхідно ввести коефіцієнт запасу, що враховує специфіку регулювання частоти обертання електроприводу, погіршення умов охолодження при зниженні швидкості, а також перехід роботи двигуна з однієї частоти обертання на іншу. Після визначення еквівалентної потужності або моменту будують уточнену навантажувальну діаграму, за якою визначається остаточно величина потужності або моменту двигуна, працюючого в даному режимі.

Для всіх режимів роботи обов'язково проводиться перевірка за умовами пуску і перевантажувальної здатності двигуна.

### 2.5.3 Вибір захисту електродвигунів

Правильний вибір і налаштування захисту електродвигунів дозволяє продовжити їх ресурс роботи і підвищити надійність при експлуатації. Однак застосування захисту двигунів підвищують вартість як самого двигуна, так і комплексу, в якому він знаходиться, тому тип і кількість захисту визначаються

не тільки технічними показниками, але і економічною доцільністю їх застосування. Передбачені такі види захисту:

1 Для двигунів напругою до 1000 В:

- захист від багатозаземленої нейтралі - додатково від однофазного КЗ. У цьому випадку можна застосувати запобіжники і автоматичні вимикачі;
- захист від КЗ і надмірного підвищення частоти обертання для двигунів постійного струму;
- захист від перевантажень для всіх типів двигунів; можна застосовувати теплові реле;
- захист від асинхронного режиму для синхронного двигуна: для двигунів до 1000 В - захист від перевантажень по струму якоря; для двигунів напругою понад 1000 В - реле, що реагують на збільшення струму якоря.

2 Для двигунів з напругою понад 1000 В:

- захист, діючий на сигнал і відключення при підвищенні температури мастила або припиненні її циркуляції для двигунів, що мають примусове змащення підшипників;
- захист, діючий на сигнал і відключення при підвищенні температури, або припинення циркуляції повітря для двигунів, що мають примусову вентиляцію;
- захист, діючий на сигнал при припиненні циркуляції води нижче заданого рівня і на відключення в двигунах, що мають примусову циркуляцію води для охолодження обмоток і активної сталі;
- загальний захист від багатозаземленої нейтралі для блоків трансформатор (авто-трансформатор) - двигун;
- для двигунів повинне бути передбачене автоматичне гасіння поля. При цьому для синхронних двигунів потужністю до 500 кВт даний пристрій не встановлюється.

### Контрольні запитання:

1. Охарактеризуйте режими роботи електродвигунів S1-S3.
2. Охарактеризуйте режими роботи електродвигунів S4-S6.
3. Охарактеризуйте режими роботи електродвигунів S7-S8.
4. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S1?
5. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S2?
6. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S3?
7. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S4?
8. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S5?
9. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S6?
10. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S7?
11. Який алгоритм виробу електродвигуна для режиму роботи S8?
12. Який захист характерний для двигунів з робочою напругою до 1000В?
13. Який захист характерний для двигунів з робочою напругою понад 1000В?

### Тема 2.6 Технічне обслуговування ЕМ

#### *2.6.1 Технічне обслуговування ЕМ малої і середньої потужності*

##### АСИНХРОННІ МАШИНИ.

Після виготовлення будь-якої ЕМ, і зокрема АД, і передачі її в експлуатацію, набирає чинності весь комплекс заходів щодо уходу, технічного обслуговування (ТО) і планово-запобіжного ремонту. Всі ділянки цього комплексу обов'язкові і не можуть бути роз'єднані.

Технічне обслуговування таких машин включає наступні операції:

1. Перевіряють двигун під час роботи при навантаженні. Якщо в живлячій мережі відсутній амперметр, контролюючий струм навантаження, то його можна виміряти за допомогою вимірювальних кліщів. За результатами виміру, якщо є порушення, приймаються заходи по нормальному завантаженню двигуна.

2. Перевіряють стан підшипників на відсутність внутрішніх пошкоджень і на нагрів. За відсутності вимірювальних пристроїв для контролю нагріву, в умовах ремонту, нагрів можна проконтролювати на дотик, порівнюючи з іншими двигунами.

3. Перевіряють кріплення двигуна до фундаментної плити. Якщо кріплення було виконане за допомогою електрозварювання, то перевіряють якість цього зварювання.

4. В роторах з фазною обмоткою перевіряють щітковий апарат, справність щікотримачів, стан пружин, кріплення щіток. Щітки повинні виступати від краю бортика щікотримача не менше 5 мм. Щітковий апарат щікотримачів, контактні кільця мають бути продуті сухим компресорним повітрям під тиском 0,2 МПа (2 атмосфери).

##### МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.

При ТО таких машин повинні виконуватися наступні операції:

1. Перевіряють роботу машини під навантаженням і при неробочому ході. Навантаження перевіряють амперметром, встановленим в живлячу мережу. Якщо виявлено перевантаження машини, то приймають заходи по її зниженню. Якщо двигун працює на граничних частотах обертання за рахунок ослаблення магнітного поля, то періодично перевіряється його частота обертання за допомогою тахометра. При цьому потрібно пам'ятати, що в двигунах кранів враховується при проектуванні його робота з частотою обертання, рівною 200% від номінальної.

2. Перевіряють стан і нагрів підшипників.

3. Перевіряють кріплення двигуна до фундаментної плити легкими ударами по гайці. При необхідності потрібно підтягнути гайки ключами.

4. Перевіряють і оглядають посадку муфт і шківів. Послаблену посадку виявляють по наявності зверху нальоту червоного порошку від контактної корозії, що виникає при переміщенні деталей, що сполучаються.

5. Одночасно розглядають стан колектора, щіток, щіткотримачів. При огляді колектора перевіряють прорізку ізоляційних прокладок, які виконуються із слюди, міканіту. Вони не повинні виступати і бути вище за колекторну пластину, оскільки щітки, що ковзають по поверхні колектора, будуть відриватися від колекторних пластин, створюватимуть додаткове іскріння під щітками, а значить, погіршувати комутацію машини. Щітки щіткотримачів, щітковий апарат, колектор повинні періодично продуватися сухим компресорним повітрям під тиском 0,2 МПа.

6. Оглядають підключення двигуна. Прояв слабких контактів виявляється при перегріві і затвердінні ізоляції із зміною її кольору. Причинами слабого контакту можуть бути:

- недостатнє затягування контактів при підключенні, особливо при з'єднанні мідь-алюміній;
- розпайка або слабе опресовування наконечників.

7. Перевіряють заземлення двигуна.

8. Періодично перевіряють простукуванням затягування болтів, щитів, фланців і т.п.

9. Вимірюють опір ізоляції обмоток відповідно до місцевої інструкції. Результати вимірів обов'язково заносяться в спеціальний журнал. Опір ізоляції в умовах ремонту можна вимірювати за допомогою мегомметрів М1101, М4100, МС-2 або М503.

### *2.6.2 Технічне обслуговування електричних машин великої потужності*

#### АСИНХРОННІ МАШИНИ.

Великі АД, потужністю понад 250 кВт, виготовляють з короткозамкненим і фазним ротором з постійно налягаючими щітками.

При ТО виконуються наступні операції:

1. Оглядають двигун в стані спокою і під час роботи. Перевіряють машину при роботі під навантаженням по амперметру, який включений в живлячу мережу. Для таких машин на амперметрі встановлюють межу червоного кольору. Ця межа говорить про роботу двигуна при номінальному навантаженні. Робота АД при навантаженнях, що перевищують номінальні, недопустима. По ходу роботи машини прослухується шум двигуна, по характерних звуках якого можна визначити і швидко знайти джерело несправності. Так, наприклад, слабке пресування активної сталі осердя викликає звуки, що зудять. Якщо не прийняти заходів по допресуванню листів активної сталі, то може статися замикання цих листів, а це може викликати значний нагрів активної сталі аж до *“пожежі в залізі”*, особливо у високовольтних машинах.

2. Обов'язково перевіряють величину напруги, що подається на двигун. Відповідно до Держстандарту ГОСТ 183-74Е межа виміру цієї напруги (+5 – -10%). Якщо напруга знизилася, зростає струм в обмотці статора. Якщо напруга збільшилася, то зростуть втрати в сталі.

3. Періодично перевіряють простуванням всі болти і шпильки кріплення в двигуні. Ослаблені болти і шпильки затягують.

4. Одночасно перевіряють стан щіткового контакту і контактних кілець (АД з фазним ротором). Щітки не повинні зависати в щіткотримачах. Тугу посадки щіток необхідно прослабити. Контактні кільця повинні рівномірно спрацьовувати. Періодично щітковий апарат, щітки, кільця продувають сухим компресорним повітрям.

5. Муфти садять на вал за допомогою шпонок або за допомогою гарячої посадки без шпонок. При ТО особливу увагу звертають на щільність посадки муфти на вал. Наявність червоного порошку від контактної корозії вказує на ослаблення даної посадки.

6. Перевіряють правильність підключення обмоток статора і ротора.

7. Перевіряють заземлення двигуна.

8. Вимірюють і перевіряють опір ізоляції обмоток статора і ротора за допомогою мегомметра.

9. Перевіряють систему охолодження двигуна.

### СИНХРОННІ МАШИНИ.

При ТО таких машин виконують наступні операції:

1. Перевіряють роботу машини під навантаженням по амперметру, який включений в живлячу мережу. На ньому відмічається червона межа, яка характеризує номінальне навантаження машини. Робота СМ при навантаженні, вище номінального, недопустима.

2. Перевіряють напругу живлячої мережі, яка повинна знаходитись в межах (+5 – -10%).

3. Перевіряють по приладах роботу схеми форсування збудження (автомат гашення поля), який застосовують для підвищення перевантажувальної здатності двигуна;

4. Перевіряють простукуванням кріплення статора (якоря), стійок підшипникових щитів.

5. Перевіряють стан контактних кілець і щіткового апарату. Якщо на одному полюсі відбувається електромеханічне перенесення металу до щітки, то контактне кільце виробляється швидше за інше. Для рівномірного вироблення кілець змінюють полярність на кільцях один раз в 3 місяці, що забезпечує рівномірне вироблення контактних кілець.

6. Перевіряють посадку муфт на вал. Наявність червоного порошку від контактної корозії вказує про ослаблення посадки муфти на вал.

7. Перевіряють надійність підшипників синхронних двигунів, перевіряють нагрів наконечників і з'єднання проводів.

8. Перевіряють систему пуску.

9. Перевіряють систему заземлення.

10. Перевіряють мегомметром опір ізоляції обмоток якоря і індуктора.

#### Контрольні запитання:

1. Які етапи включає в себе технічне обслуговування асинхронних машин малої і середньої потужності?

2. Які етапи включає в себе технічне обслуговування синхронних машин малої і середньої потужності?

3. Які етапи включає в себе технічне обслуговування машин постійного струму малої і середньої потужності?

4. В чому полягає технічне обслуговування асинхронних машин великої потужності?

5. В чому полягає технічне обслуговування синхронних машин великої потужності?

7. В чому відмінності технічного обслуговування між машинами малої і середньої потужності та потужними електричними машинами.

### Тема 2.7 Виконання поточного чи капітального ремонту при монтажу електричних машин

#### *2.7.1 Процедура демонтажу електричних машин.*

До розбирання електричну машину необхідно очистити і продути сухим компресорним повітрям. Готують необхідний інструмент, знімачів для зняття муфт, шківів, підшипників. Готують також різний обтиральний матеріал і т.п. Якщо обмотка не підлягає заміні, її випробують на випробувальній станції за програмою, відповідно місцевої інструкції. Машину прокручують при номінальній частоті обертання, для чого уважно прослуховують роботу підшипників, характер гудіння машини, прослуховують її вібрацію, роботу щіток, щіткового апарату, колектора, контактних кілець.

Розбирання машини починають із зняття муфти і шківа за допомогою трьох лапчастого знімача. Знімаючи муфти, шків, обов'язково необхідно стежити, щоб не було перекосу при їх знятті. Якщо муфти щільно посаджені на вал, то їх нагрівають. В умовах ремонту їх можна контролювати за допомогою олова, що прикладається до деталі. Олово плавиться при  $t^0 \sim 250^0\text{C}$ , якої вистачає для нормального зняття муфти з валу. Знімати муфти можна і за допомогою нагріву деталей полум'ям. Проте, при цьому деталь необхідно оберігати за допомогою азбесту, заздалегідь змоченому у воді. В даний час в умовах ремонту сполучені деталі можна нагрівати струмами високої частоти. При цьому деталі не нагріваються. Зняття роз'ємних деталей здійснюється без перекосів, без ударів і обережно.

Перед зняттям підшипникових щитів в АД з фазним ротором, МПС, СМ виймають щітки з щіткотримачів, виключаючи при цьому їх пошкодження. Потім відкручують болти, що притискають щити до станини. У машинах середньої і великої потужності є отвори для віджимних болтів, якими виводять щити з центральних заточок.

Після зняття підшипникових щитів із статора виймається ротор. У машинах малої потужності ця операція виконується вручну. У машинах середньої і великої потужності ротор виймається із статора за допомогою спеціального пристосування, що захоплює вал з боку вентилятора. Обов'язково перед виведенням ротора із статора на внутрішню поверхню статора накладається прокладка, яка виконана з електрокартону товщиною приблизно 0,5 мм. В АД з фазним ротором знімається ковпак контактних кілець, виймають щітки, знімають коробку контактних кілець, відкручуючи болти, що кріплять його.

В МПС заздалегідь відключають всі з'єднуючі проводи. Обов'язково виконують їх маркірування. Подальше розбирання ЕМ визначається характером несправності. Якщо, наприклад, несправні головні полюси в МПС, то їх розбирають і проводять ремонт. Всі зняті деталі обов'язково маркіруються ремонтним номером і укладаються у вічка стелажів або на майданчики, призначені для ремонту.

### *2.7.2 Дефектація вузлів і деталей машин*

По ходу розбирання виконують ретельний огляд деталей і вузлів, необхідні виміри проміжків в ЕМ, роблять виміри розмірів головних і додаткових полюсів. Перевіряють вироблення обойм щіткотримачів і їх шарнірних з'єднань. В процесі огляду деталей і вузлів машини може виявитися, що дана ЕМ не ремонтпридатна. В цьому випадку слюсарями-ремонтниками складається акт про необхідність вибраковування машини, якщо виявлені такі дефекти:

1. Пошкоджено більше 20% листів активної сталі статору і ротору;
2. Є тріщини, що перевищують 50% відповідного лінійного розміру машини (довжина, ширина, діаметр);
3. Зруйновані гнізда кріплення підшипникових щитів або двох лап;

4. Нерівномірність повітряного проміжку складає більше 10% і його неможливо відновити. В цьому випадку складається відомість дефектів і такий двигун відправляють до ремонту.

### 2.7.3 Підготовка до заміни обмоток

Досвід ремонту показав, що частково відремонтовані обмотки в більшості випадків виходять з ладу. Це пояснюється тим, що в процесі ремонту відбувається неминуче пошкодження ізоляції як пазової, так і виткової на секціях, які до ремонту були не пошкоджені. Високу якість обмоток отримують в крупних машинах, обмотки яких виконуються проводами прямокутного перетину з жорстких секцій.

Для ремонту обмоток складається обмотувальна записка, в якій вказуються наступні величини:

- 1) тип машини;
- 2) номінальна потужність;
- 3) номінальна напруга;
- 4) номінальна частота обертання;
- 5) тип і конструктивні особливості обмотки;
- 6) число витків котушки;
- 7) число елементарних провідників у витку;
- 8) марка і діаметр проводу;
- 9) крок і число паралельних гілок обмотки;
- 10) число котушок в групі, порядок чергування котушок;
- 11) клас ізоляції (клас нагрівостійкості).

При ремонті ЕМ старих конструкцій, знятих з виробництва, до початку ремонту знімають з натури обмотувальні дані (марку і діаметр проводу, кількість проводів в пазу, крок по пазах і т.п.), а також обов'язково ескіз лобових частин обмотки. Пази обов'язково маркують. Дуже часто в умовах ремонту відсутні проводи необхідного діаметру. При заміні проводу з іншим

діаметром обов'язково необхідно перевірити коефіцієнт заповнення пазу, який дорівнює:

$$K_3 = \frac{n \cdot d_{iz}^2}{S_n - S_{iz}},$$

де  $n$  - число проводів в пазу;

$d_{iz}$  - діаметр ізолюваного проводу;

$S_n$  - площа пазу;

$S_{iz}$  - площа ізоляційних прокладок, клину, пазової ізоляції.

Для ЕМ  $k_3$  повинен знаходитися в межах  $0,7 \div 0,75$ . Якщо виявиться, що  $K_3 > 0,75$ , то це викликає складність укладання проводів в пазу і виникає вірогідність пошкодження ізоляції обмоток. Якщо  $K_3 < 0,75$ , проводи обмоток вільно укладаються в паз, ізоляція менш ушкоджується, проте двигун буде недовикористаний по потужності. При підготовці до ремонту перевіряють наявність проводів, матеріалу, пристосувань, інструменту, вимірювальних приладів.

Закінчивши повністю підготовку до ремонту, всипну обмотку, наприклад, обрізують з одного боку (рисунок 2.2) і для полегшення видалення секцій з пазів піддають одному з наступних видів обробки:



## Рисунок 2.2 – Стенд для демонтажу лобової частини обмотки

1. Заздалегідь розігрівають активну сталь разом з обмоткою до температури  $350^{\circ}\text{C}$ , що дає можливість вільно видалити проводи обмотки з пазів.

2. Розпарюють активну сталь (осердя) в розчині каустичної 20% соди з подальшою нейтралізацією обмотки в проточній воді. В умовах ремонту даний спосіб знайшов широке застосування.

### Контрольні запитання:

1. Які є підготовчі процедури до демонтажу електричної машини?
2. З чого починається демонтаж електричної машини?
3. Що необхідно зробити після зняття підшипникових щитів при демонтажі?
4. В якому випадку складається акт про відбракування електричної машини та її списання?
5. Яка інформація вноситься до обмотувальної записки?

### Тема 2.8 Ремонт обмоток машин змінного струму при поточному і капітальному ремонті

#### 2.8.1 Поточний ремонт обмоток

При експлуатації і зберіганні ізоляція обмоток ЕМ піддається руйнуванню. На ізоляцію дуже сильно впливає вібрація, електродинамічні сили, особливо при ударних навантаженнях від пускових струмів, що досягають, наприклад, в АД  $6 \div 7$  кратного значення від номінального. Через усадку ізоляції, що виникає в ЕМ при нагріванні обмоток, видалення з ізоляції легких речовин, а також через опресовування секцій, пов'язаних з вібрацією машини, виникає переміщення і стирання ізоляції як виткової, так і корпусної. Якщо вчасно не прийняти відповідних заходів, то це призведе до пошкодження самої обмотки і активної сталі машини. Перед початком ремонту машину очищають, продувають компресорним повітрям, оглядають обмотки статора і ротора, головних і додаткових полюсів. Звертають увагу на поверхневий стан ізоляції обмоток, маючи на увазі її механічне пошкодження або стирання в результаті переміщення. Зовнішнім оглядом визначають, щоб не було замикань витків котушки обмотки, перевіряють стан бандажів, перевіряють можливість ослаблення їх при усадці ізоляції. При виявленні ослаблення дротяних бандажів, якщо резервна машина відсутня, бандаж підклинюють текстолітовими прокладками в діаметрально протилежних точках. Текстолітові смужки заздалегідь промазують клеючим лаком і забивають під бандаж, щоб уникнути сповзання бандажу назовні. Місця з поганим паянням слід перепаяти. Для обмоток використовується ПОС-61, а для бандажів- ПОС-40. Виявлені в ізоляції тріщини в залежності від їх характеру видаляють просоченням в лаку, а при його відсутності фарбуванням ізоляційної емалі. Уважно оглядають вивідні кінці обмоток. Тут може виявитися погане паяння і наслідки нагріву цих місць можна виявити по

зміненому забарвленню пересохлої ізоляції. Хороша ізоляція має бути м'якою і пластичною. Якщо вона крихка і змінила колір, її необхідно замінити.

Лобові частини обмоток мають бути забандажовані льняним крученим шпагатом або лавсановим шнуром.

### *2.8.2 Капітальний ремонт обмоток*

Обмотки ЕМ замінюють при виткових замиканнях або пробі ізоляції на корпус, при якому відбувається вигорання ізоляції і міді обмоток. Стан ізоляції обмоток визначається декількома показниками. Перш за все – опір ізоляції, який визначають мегомметром. Але опір ізоляції не є основним показником, по якому можна оцінити стан ізоляції і її якість. Мегомметром можна зафіксувати високе значення опору ізоляції, а вона виявиться непридатною унаслідок своєї крихкості, тобто необоротного процесу старіння ізоляції. Таку обмотку необхідно замінити. Для того, щоб правильно оцінити якість обмотки, її частково розкривають, після чого випробовують на виткове замикання і відносно корпусу. Якщо обмотка знаходиться в задовільному стані, то її очищають від бруду, продувають повітрям, при необхідності замінюють бандажі, сушать і просочують, а потім знову сушать.

### *2.8.3 Ремонт короткозамкнених обмоток ротора*

Матеріал короткозамкнених кліток (мідь, алюміній, латунь) і електротехнічна сталь роторів мають різні коефіцієнти лінійного розширення. Тому при нагріванні і охолодженні відбувається відрив стрижня клітки ротору від стінки пазу, унаслідок чого відбувається переміщення всієї короткозамкненої клітки. При цьому спостерігаються тріщини в клітці або повні розриви стрижнів обмотки ротора. Таке явище спостерігається в короткозамкнених кліток, виконаних з алюмінію. В клітках з мідними і особливо латунними стрижнями відбувається роз'їдання стінок пазу. При

цьому самі стрижні зменшуються в розмірах від їх стирання. В результаті цього стрижні набувають деформацію горбоподібної форми (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Пошкодження литих короткозамкнених обмоток ротора АД

Різко зростає вібрація ротору, порушуються контакти в місцях паяння стрижнів з короткозамкненими кільцями.

Короткозамкнена обмотка ротору повинна мати високу електропровідність і високу механічну міцність. Має бути чималий перехідний опір між стрижнями ротора і активною сталлю ротора. При виготовленні короткозамкнених кліток ротора найбільш прогресивним методом є метод заливки пазів алюмінієм. При цьому способі одночасно

відливаються стрижні, кільця, і, при необхідності, вентиляційні лопатки, призначені для перемішування повітря усередині машини.

Контрольні запитання:

1. Які операції передбачає поточний ремонт обмоток ЕМ?
2. Які операції передбачає капітальний ремонт обмоток ЕМ?
3. Яким чином усуваються тріщини в ізоляції ЕМ?
4. Які бувають ушкодження КЗ кліток обмотки ротора АД?
5. Як причини появи ушкоджень КЗ кліток обмотки ротора АД?
6. Як проводиться ремонт ушкоджень КЗ кліток обмотки ротора АД?
7. Яким чином впливають ушкодження КЗ кліток обмотки ротора АД на його роботу?

### Тема 2.9 Ремонт литих короткозамкнених обмоток ротора

#### 2.9.1 Способи заливки роторів

Для заливки короткозамкненої обмотки застосовується алюміній марок А5, А6, А7 (99,5; 99,6; 99,7% - алюміній, решта – домішки: кремній, мідь, титан, цинк, залізо). В даний час застосовують наступні способи заливки роторів алюмінієм:

- 1) статичний;
- 2) під тиском;
- 3) відцентровий;
- 4) вібраційний.

Статичний – найгірший з перерахованих, оскільки не забезпечує високої якості заливки. При його використанні з'являються раковини, тріщини, повітряні порожнини в клітках і короткозамкнених кільцях. При цьому способі заздалегідь розігрітий алюміній заливається у форму. В умовах ремонту практично не застосовується.

Заливка тиском і відцентровий способ застосовуються на ремонтних підприємствах, які мають відповідне устаткування. У ремонтних цехах практично ці методи не застосовуються через складності устаткування і значних економічних витрат. Найбільш прийнятним способом заливки роторів алюмінієм для ремонтних цехів є вібраційний спосіб, суть якого полягає в наступному (рисунок 2.4).

Рисунок 2.4 – Вібраційний спосіб заливки короткозамкнених обмоток

Вібраційним способом заливають ротори на спеціальній установці. Вона складається зі столу 1, до нижньої сторони якого прикріплені вібратор 5 і пневмоциліндр 8. На кінці штока пневмоциліндра є диск 7 з тягами 6. При включенні пневмоциліндра форма тягами 10 щільно притискається до столу. Стіл через пружини 3 спирається на раму 4 і кріпиться до неї болтами 2. Вібратор 5 наводиться рух електродвигуном 9 за допомогою ремінної передачі. При обертанні електродвигуна виникає відцентрова сила за рахунок незбалансованого диска вібратора змушує вібрувати основу машини і форму з пакетом ротора, що заливається.

У стіні, наприклад, закріплюється консоль приблизно завдовжки 0,7 ÷ 0,8м і на кінці її встановлюється сердечник ротору, заздалегідь нагрітий до температури 550°C. На край консолі встановлюється вібродвигун. В якості такого двигуна можна використовувати двигуни, які випускається

вітчизняною промисловістю марки ІВ-98. Такий спосіб заливки дає високу якість при мінімальних витратах.

### *2.9.2 Ремонт мідних і латунних короткозамкнених кліток роторів*

До початку ремонту ретельно оглядають стан стрижнів і короткозамкнених кілець. Якщо в короткозамкненому роторі використовується зварна клітка, то в умовах ремонту для виявлення несправностей в місцях з'єднання стрижнів і кілець, з боку торця осердя ротора, можна використовувати люстерко. Повне розбирання короткозамкнених кліток проводять, якщо пошкоджено понад 10% стрижнів від їх загальної кількості. У інших випадках виконують ремонт без повного розбирання клітки. При повному розбиранні клітки ротор встановлюють на токарному верстаті і за допомогою фрези або різця відрізають з одного боку короткозамкнені кільця, після чого виймають за допомогою спеціального пристосування або плоскогубців стрижні з пазів ротору. Якщо стрижні заклинило в пазах, то їх виїмку виконують на спеціальних верстатах для висмикування стрижнів. Якщо ж і це не допомогло, то дозволяється за допомогою фрези з боку шліца ротору розрізати стрижень на дві частини і виїняти його по частинах. Фасонні стрижні (пляшкові, трапецеїдальні, глибокопазні, з подвійною кліткою) при витягуванні в умовах ремонту допускається розпилювати на частини з боку вентиляційних каналів, якщо це передбачено конструкцією машини.

В умовах ремонту дуже часто ремонтні цехи самостійно замінюють стрижні, що вийшли з ладу. Виконується це в такий спосіб (наприклад, для пляшкового пазу): попередньо відрізається заготівля з міді або латуні і за допомогою дерев'яного молотка відрехтовують дану заготівку. Потім знімають задирки з заготовки та знежирюють її в розчиннику (ацетон, уайт-спірит, бензин Б70). Потім в даній заготовці (рисунок 2.5) робиться канавка завглибшки 3...8 мм, в залежності від діаметру стрижня.



Рисунок 2.5 – Заготовка для демонтажу стержнів КЗ обмотки ротора

Попередньо відрізається заготовка по довжині, яка дорівнює довжині прутка, і в двох-чотирьох місцях попередньо приварюється до стрижня. Після чого дана заготовка приварюється по всій довжині прутка.

Збирання короткозамкнених кліток ротору роблять таким чином. Забивають по два стержні в діаметрально-протилежних пазах. Потім через 90<sup>0</sup> забивають чергову пару стрижнів. Категорично заборонено встановлювати стрижні один за одним. При підготовці до пайки короткозамкненої клітки, проміжки між стрижнем і отвором в клітці (для зварних кліток) повинні бути:

- для круглих стрижнів 0,1- 0,2 мм;
- для прямокутних стрижнів 0,1 – 0,25 мм.

Ротора, в яких проведено часткове або повне розбирання, повинні бути обов'язково відбалансовані. Для надійної і тривалої роботи після виконаного ремонту осердя разом з кліткою, яка виконана з міді або латуні, нагрівається до температури 75<sup>0</sup> С і просочується в термореактивному лаку МЛ98. Це робиться для того, щоб виключити зрушення стрижнів в пазах. В умовах ремонту таку операцію виконують достатньо широко.

### Контрольні запитання:

1. Які марки алюмінію використовуються для заливки роторів АД?
2. Які бувають способи заливки роторів АД?
3. В чому полягає статичний спосіб заливки роторів?
4. В чому полягає спосіб заливки під тиском роторів?
5. В чому полягає відцентровий спосіб заливки роторів?
6. В чому полягає вібраційний спосіб заливки роторів?
7. Які бувають форми та конфігурації білячих кліток КЗ роторів АД?
8. Яким чином виконується ремонт стержньових КЗ обмоток роторів АД?

### Тема 2.10 . Ремонт магнітного осердя статора та ротора

#### 2.10.1 Ремонт магнітопроводу ЕМ

Несправність сердечників роторів і статорів встановлюється зовнішнім оглядом при розібраній машині. Характерними несправностями, які властиві для машини, є:

- 1) розпушення крайніх листів осердя;
- 2) зсув частини листів шихтованого осердя;
- 3) ослаблення пресування листів активної сталі;
- 4) порушення ізоляції листів осердя і місцевий поверхневий нагрів шихтовки;
- 5) вигорання або розплавлення ділянок осердя;
- 6) послаблення посадки осердя ротора на вал.

1) Для усунення розпушення крайніх листів осердя їх виправляють і при потребі зварюють між собою 3-5 крайніх листів. Листи зубців осердя стягують шпильками між двома масивними шайбами, які встановлюються тільки на момент зварювання. Потім по зубцях за допомогою ножівки пропилюють пази шириною 1,5-2 мм і довжиною 10-12 мм. Потім заварюють пропиляні пази за допомогою електрозварювання, і заварені ділянки зашлифують урівень з осердям.

2) Зрушені окремі листи осердя активної сталі відновлюють прогоном через паз сталеві конусної оправки, після чого паз обробляють напилком.

3) Ослаблене пресування активної сталі осердя проявляється викидом червоного порошку від контактної корозії при взаємному переміщенні листів шихтовки. Для усунення цього дефекту в умовах ремонту в межах ширини зубця забивають з склотекстоліту клини (через два-три зубці) між натискним кільцем і крайнім листом осердя. Потім з допомогою шупу товщиною 0,1 мм

перевіряють величину проміжку між листами шихтовки. Щуп не повинен проникати глибше 2 мм між листами. Потім крайні листи загинають на клини для їх фіксації.

4) При порушенні ізоляції листів осердя ділянку активної сталі, на якій виник нагрів, зачищають за допомогою напилка або шліфувального круга. Потім за допомогою шаберу знімають задирки і перемички між листами осердя. З фарборозпилювача (пульверизатора) пошкоджену ділянку покривають лаком БТ-99 (повітряної сушки).

5) Вигорілу і оплавлену ділянку активної сталі вирубують гострим зубилом, виключаючи оплавлені між собою листи. Тонким шабером видаляють задирки між листами. Потім ножом або викруткою акуратно розводять листи осердя і між ними укладають пластини слюди товщиною 0,5-0,7 мм на глибину 10-15 мм. Потім відремонтовану ділянку покривають лаком БТ-99. В умовах ремонту дуже часто порожнечі від вигорання заповнюють вставкою (протезом), який виконують з текстоліту або склотекстоліту 2 (рисунок 2.6).

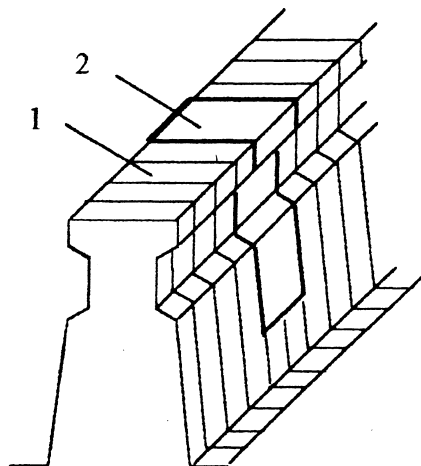


Рисунок 2.6 – Виконання протезу на пошкодженій ділянці зубця магнітного осердя

6) При ослабленні посадки осердя ротору на вал ремонт проводиться наступним чином:

- в роторі з білячою кліткою на ескізі показують розташування осердя, після чого за допомогою пресу випресовують вал ротора;

- в фазному роторі демонтують фазну обмотку. На ескізі позначають розташування осердя ротору, знімають контактні кільця і обмоткоутримувач. По перерізу і довжині пазу в діаметрально-протилежних пазах забивають клини. Потім з допомогою шайб затискають сердечник, виключаючи зсув листів шихтовки. Потім випресовують вал, відновлюють посадочну поверхню валу, запресовують осердя на вал, нагрівають сердечник до температури  $70^{\circ}\text{C}$ , просочують лаком БТ-99, сушать на повітрі і укладають обмотку ротору.

### *2.10.2 Ремонт одно- і двошарових концентричних обмоток статора.*

Для механізованого укладання обмоток статорів двигунів серій АІ і АІР розроблені і застосовуються на електромашинобудівних заводах одно – і двошарові концентричні обмотки, для яких застосовуються спеціальні намотувальні верстати. У ремонтних цехах, як правило, таких верстатів для механізованого укладання немає через дорожнечу, і тому застосовується ручне укладання обмоток. При ремонті статорів, в яких застосовуються одно – і двошарові концентричні обмотки, можна перейти на двошарові обмотки. При цьому зберігають перетин проводів, число витків в фазі і еквівалентний крок по пазах незмінним (еквівалентним називають крок двошарової обмотки, яка має той же коефіцієнт скорочення, що і одно – і двошарова обмотка).

### *2.10.3 Підвищення надійності відремонтованої частини активної сталі.*

Встановлення стеклотекстолітових, текстолітових протезів після пошкодження частини активної сталі дає можливість сформувати правильну форму пазу в осерді. Проте, в цьому випадку відбувається перерозподіл магнітного поля в машині, зменшується провідність зубців, збільшується

струм неробочого ходу, що призводить до додаткового нагрівання активної сталі. Виникають пульсації магнітного поля, що викликають додаткові втрати в активній сталі статора і ротору, зменшується ККД і погіршуються пускові характеристики машини. Для підвищення надійності активної сталі машини замість протезів, виконаних з текстоліту, в умовах ремонту можна використовувати магніто-діелектрики, які представляють із себе суміш феромагнітного порошку з різними технологічними добавками. Приготовлений феромагнітний матеріал стійкий до впливів ударних теплових навантажень від  $200^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , розчинів солей, лугів, кислот, масел, спиртів, гасу, бензину.

#### Контрольні запитання:

1. Які є характерні несправності магнітного осердя ЕМ?
2. Які способи використовуються для ремонту розпушення крайніх листів осердя?
3. Які способи ремонту використовуються для ремонту вигорання або розплавлення ділянок осердя?
4. Які способи використовуються для ремонту порушення ізоляції листів осердя і місцевий поверхневий нагрів шихтовки?
5. Як виконується механізований ремонт одно- і двошарових обмоток серійних двигунів?
6. Яким чином можливо підвищити надійність відремонтованої частини активної сталі?

### РОЗДІЛ 3 ІЗОЛЯЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

#### Тема 3.1 Етапи технології просочення ізоляції обмоток

##### *3.1.1 Загальні положення процесу сушіння*

Зволоження ізоляції обмоток і інших струмопровідних частин машини призводить до зниження її опору ізоляції. Включення таких машин під робочу напругу може призвести до електричного пробоя ізоляції обмоток і виходу машини з ладу. Причиною зволоження ізоляції ЕМ може бути порушення правил зберігання, зокрема, знаходження довгого часу на відкритому повітрі, під дощем, а в окремих випадках – тривала бездіяльність і очікування ввімкнення машин, встановлених в холодних неопалювальних приміщеннях. Для усунення цих причин використовують сушіння, в процесі якого усувається волога з ізоляції обмоток і інших струмопровідних частин з метою підвищення опору ізоляції обмоток до величини, що дозволяє поставити ЕМ під робочу напругу. Видалення вологи досягається за рахунок термічної дифузії, що викликає переміщення вологи у напрямку потоку теплоти, тобто від найбільш нагрітої частини до холоднішої. Причиною такого переміщення є перепад вологості в різних шарах ізоляції (з шару з більшою вологістю волога переміщуються в шар з меншою вологістю).

Інтенсивність сушіння ізоляції обмоток залежить від температурного перепаду. Чим більше температурний перепад, тим більша інтенсивність сушіння. Температурний перепад отримують нагрівом внутрішніх частин обмотки, в результаті чого досягається різниця температур внутрішніх і зовнішніх шарів ізоляції або періодичним охолодженням зовнішніх шарів ізоляції (періодичним продуванням холодного повітря через машину) і подальшим нагрівом ізоляції обмоток. Даний спосіб широко застосовують в

умовах ремонту при сильно зволоженій ізоляції обмоток. Найбільш правильна думка про ізоляцію обмоток дає вимір струмів витоків при прикладенні до ізоляції випробувальної напруги постійного або змінного струму по відношенню до номінальної, рівної 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5. Після визначення струмів витоків залежно від випробувальної напруги будують залежність  $I_{\text{вит}}=f(U_{\text{вип}})$ , вигляд яких показаний на рисунку 3.1.

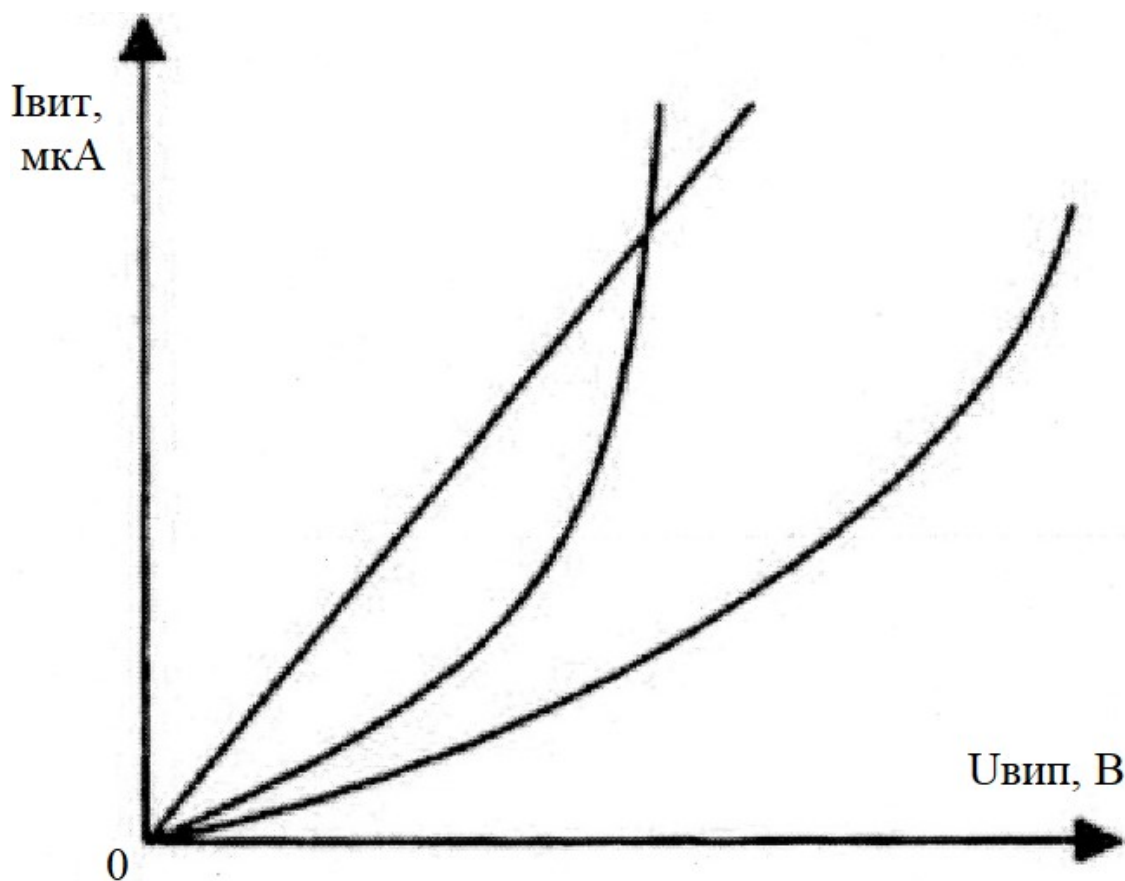


Рисунок 3.1 – Крива випробувальної напруги під час сушіння ізоляції

Якщо дана залежність носить лінійний характер, це говорить про те, що ізоляція обмоток знаходиться у хорошому стані і ЕМ можна поставити під робочу напругу. Якщо дана характеристика має сильний перегин, це говорить про те, що ізоляція обмоток сильно зволожена і таку машину під робочу напругу ставити не можна, вона вимагає проведення сушіння. Якщо дана залежність відрізняється від лінійної, але має несильний перегин, то таку машину також не можна ставити під робочу напругу, а вона вимагає контрольного прогрівання і повторних вимірів. Контрольний нагрів або

сушіння ЕМ, ізоляція якої трохи відсиріла, виконують теплим повітрям, яке проганяють через двигун вентилятором. При цьому двигун розміщують у сушильній шафі. Крім того, ізоляцію обмоток можна сушити за допомогою пропускання електричного струму через обмотку. Контрольний нагрів або сушіння виконують постійним або змінним струмом, який пропускають через обмотку. При цьому треба пам'ятати, що пропускаючи струм по обмотці, він може викликати спучення (відшарування) ізоляції від металу обмотки. Тому при такому способі сушіння необхідно обов'язково контролювати величину струму, що пропускається, і температуру обмотки в процесі сушки.

В умовах ремонту для сушіння широко застосовують так званий метод індукційних втрат в сталі. Згідно цього методу (рисунок 3.2) на корпус машини намотується допоміжна обмотка і підключається до джерела живлення.

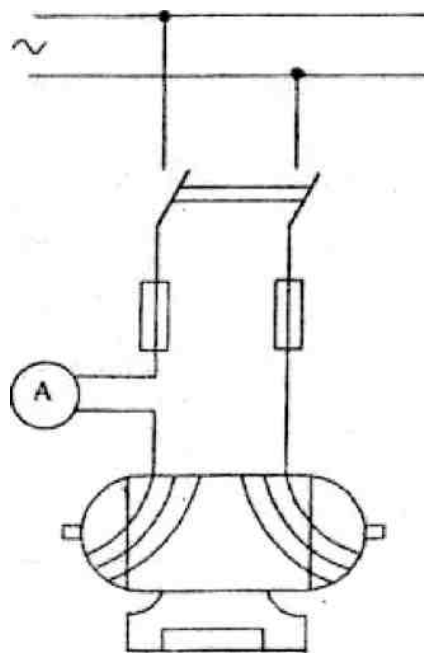


Рисунок 3.2 – Метод індукційних втрат

Довжина обмотки, перетин і кількість витків визначаються величиною напруги, що подається на обмотку. При будь-якому способі сушіння, а саме: гарячим повітрям, пропусканням електричного струму через обмотку, стежать за тим, щоб температура не перевищувала допустимого значення, відповідно до якого для різних ЕМ вона складає  $65^{\circ}$ - $70^{\circ}$  С. Контроль температури

проводиться за допомогою термопар, які встановлюються в найбільш нагрітих частинах машини.

Розглянемо ряд способів сушіння ізоляції ЕМ, які застосовуються при їх ремонті.

### *3.1.2 Способи сушки ізоляції ЕМ*

Сушіння ізоляції ЕМ в умовах ремонту проводять наступними способами:

- 1) зовнішнім нагрівом;
- 2) нагрівання струмом від стороннього джерела;
- 3) індукційним способом;
- 4) струмом КЗ в генераторному режимі;
- 5) подачею напруги при малій частоті обертання (для двигунів постійного струму);
- б) методом вентиляційних втрат.

Якщо при використанні одного з вищезгаданих способів не створюється необхідна для сушіння температура або нагрів відбувається нерівномірно, то в умовах ремонту можна проводити комбіноване сушіння, при якому можна використовувати спільно декілька способів. Перед проведенням сушіння ЕМ оглядається, продувається стислим повітрям. Щоб уникнути псування ізоляції і активної сталі необхідно, щоб температура сушіння досягла 50<sup>0</sup> С через 10 хв. після початку сушіння, а гранично допустима - через 20 годин.

Розглянемо детальніше вищезгадані способи сушіння.

#### 1 Сушіння зовнішнім нагрівом

Даний спосіб сушіння застосовується для ЕМ, що дуже відсиріли. Для зовнішнього нагріву використовують чавунні опори, ящики опорів або спеціальні нагрівачі, рівномірно розташовані під ЕМ. Розташовуючи нагрівачі, їх необхідно встановлювати так, щоб не було місцевого перегріву окремих частин машини. Машини, які не мають вентиляційних камер, сушать гарячим

повітрям від повітродувок потужністю приблизно 20 кВт. Для того, щоб не розпилялося тепло, ЕМ обгороджують щитами або розміщують під навісами, які виконані з брезенту. У таких щитах або навісах обов'язково необхідно передбачити отвори, які повинні періодично відкриватися для видалення вологи. Під час сушіння стежать, щоб температура гарячого повітря, що поступає в машину, не перевищувала 90°C, а температура обмоток в найбільш нагрітій її частині – 70° С. Температуру вимірюють за допомогою термометрів, які встановлюють у патрубку повітродувки, а в найбільш нагрітих частинах машини – за допомогою термопар.

Сушіння крупних машин зовнішнім нагрівом повітродувкою малоефективна в зв'язку з труднощами нагріву активної сталі.

## 2 Сушіння струмом від стороннього джерела

### Синхронні машини

При даному способі сушіння (рисунок 3.3) обмотка якоря з'єднується з обмоткою збудження і через регулювальний реостат з амперметром підключається до мережі постійного струму. Струм сушіння встановлюється 50-70% номінального струму за допомогою регулювального реостату. У дане коло не можна включати вимикач, оскільки при поломці вимикача і розриві електричного кола зволожена ізоляція обмоток може бути пробита.

Виключення мережі здійснюється регулювальним реостатом.

### Асинхронні машини

АМ, в умовах ремонту, при цьому способі сушать при КЗ із загальмованим ротором. Обмотку ротора закорочують (АМ з фазним ротором) спеціальною перемичкою, щоб уникнути підпалу кілець. Струм сушіння встановлюють приблизно 70% номінального струму. Значить, підведена напруга повинна складати приблизно 70% від напруги КЗ. При даному способі сушіння необхідно пам'ятати, що в режимі КЗ із загальмованим ротором, ротор знаходиться під впливом магнітного поля з частотою 50 Гц, а при роторі, що обертається під впливом магнітного поля з частотою 1-1,5 Гц, тому

активна сталь ротора нагрівається значно швидше, ніж активна сталь статора (втрати відбираються краще на статорі), тому за температурою ротора необхідно постійно стежити. Температура бандажів (АМ з фазним ротором) не повинна при сушінні перевищувати  $100^{\circ}\text{C}$ .

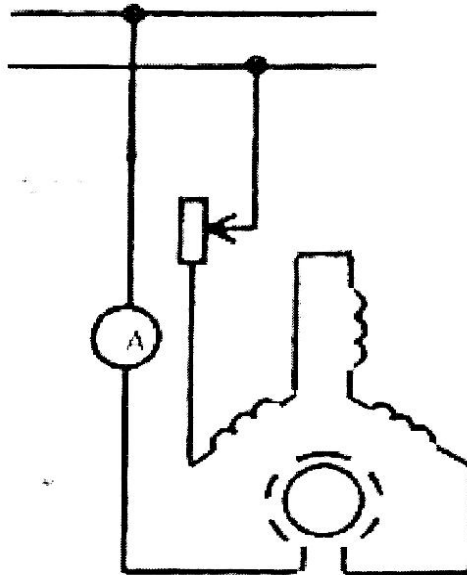


Рисунок 3.3 – Спосіб сушки ізоляції синхронних машин

### **Машини постійного струму**

При сушінні машин постійного струму вказаним способом обмотка якоря з обмоткою додаткових полюсів, серієсною обмоткою живляться від мережі малої напруги. Під час сушіння якір повинен повільно обертатися. При цьому потрібно стежити, щоб щітки були встановлені на нейтралі, інакше це може призвести до підвищення частоти обертання внаслідок ослаблення магнітного поля.

В умовах ремонту, як джерело живлення, можна використовувати зварювальні агрегати, що випускаються вітчизняною електропромисловістю, типа ПД - 305 або ПД - 502. Якщо виявилось, що обмотка дуже сильно зволожена, то струм сушки встановлюється поступово. Спочатку встановлюється струм сушки приблизно 20% номінального струму, поступово

підвищують до 50% протягом 5-6 годин від початку прогрівання, потім - до необхідної величини струму сушіння.

До недоліків цього методу сушки МПС треба віднести підгар колекторних пластин, пов'язаний з нерухомістю якоря.

### 3 Спосіб індукційних втрат

Даний спосіб в умовах ремонту може бути використаний для всіх ЕМ. Цей спосіб ділиться на два способи:

- 1) втратами в активній сталі статору;
- 2) втратами у корпусі статору.

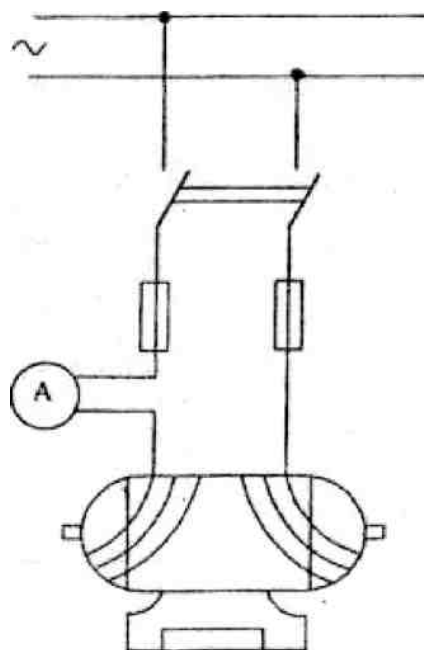


Рисунок 3.4 – Метод індукційних втрат

Або за першим, або за другим способом намотується додаткова (допоміжна) обмотка, яка підключається до джерела змінної напруги (рисунок 3.4). Для першого випадку машина розібрана, в другому зібрана. Для першого випадку магнітне поле, створене обмоткою, в першу чергу нагріває активну сталь осердя статору за рахунок великої різниці магнітної провідності осердя статора і корпусу машини. В корпус буде відгалужуватися незначний магнітний потік. У другому випадку обмотка намотується на корпус машини і нагрів машини досягається за рахунок втрат в корпусі статору від намагнічувальної обмотки. Спочатку гріється корпус і тепло передається

активній сталі, а потім від активної сталі до обмотки статора. Для сушки машин крупних габаритів цим способом потрібна намотка великої кількості витків. Більш докладніше розглянемо ці способи.

### 1 Сушка втратами в активній сталі статора

Для цього треба:

а) розрахувати намагнічуючу обмотку:

число витків намагнічувальної обмотки

$$W = \frac{45 \cdot U}{Q \cdot B},$$

де  $U$  – величина напруги, яка потрібна для сушіння, В;

$B$  – величина магнітної індукції  $B=0,6-0,8$  Тл;

$Q$  – перетин активної сталі,  $\text{см}^2$

$$Q = k_3 \cdot l_c \cdot h_c = k_3 \cdot (l - n \cdot b) \cdot h_c;$$

де  $k_3$  – коефіцієнт заповнення сталі,  $k_3 = 0,94 - 0,97$ ;

$l_c$  – довжина активної сталі статора без вентиляційних каналів, см;

$h_c$  – висота спинки статора, см;

$b$  – ширина вентиляційного каналу, см;

$n$  – число каналів.

Для визначення струму треба розрахувати магніторушійну силу, А

$$F = \pi \cdot D_{cp} \cdot H,$$

де  $D_{cp} = \frac{D_{зовн} - (D + 2 \cdot h_3)}{2}$  – середній діаметр сталі статора, см;

$h_3$  – висота зубця статора, см

$H$  – напруженість магнітного поля, яка залежить від сорту сталі;

$D_{зовн}$  – зовнішній діаметр статора, см;

$D$  – внутрішній діаметр статора (діаметр розточки), см.

Орієнтовно для слабо і середньолегованої сталі для  $B=0,6;0,7;0,8$  Тл можна прийняти відповідно  $H=1,4;1,8;2,2$  А/см, а для електротехнічної сталі - відповідно  $2,2;2,8;3,7$  А/см.

Тепер можна визначити силу струму, А

$$I = \frac{F}{W} .$$

Для намагнічувальних обмоток використовують провід марки ПР або ПРГ. Струмове навантаження на провід не повинно перевищувати 60-70% допустимого навантаження. Обмотка повинна бути ізольована від активної сталі прокладками із азбесту.

б) випнути ротор із статора і підготувати статор до сушіння (продути, очистити);

в) підготувати провід перетином відповідно розрахунку для намагнічувальної обмотки (виміряти довжину витка, відрізати провід на загальну довжину обмотки, зачистити кінці);

г) прокласти прокладки із азбестового картону, ізолюючи активну сталь від намагнічувальної обмотки, ув'язати прокладки скляною стрічкою;

д) намотати рівномірно на активне залізо статора намагнічувальну обмотку, виконати відгалуження в ній для регулювання температури;

е) встановити термометри або термопари, контролюючи температуру обмотки і активне залізо;

є) виконати заземлення корпусу машини;

ж) утеплити лобові частини обмотки азбестовим полотном;

з) підключити намагнічувальну обмотку до джерела живлення;

и) сушити машину, вимірюючи в процесі сушки температуру обмотки статора, опір ізоляції і коефіцієнт абсорбції (для виміру опору ізоляції обмотки статора потрібно відключити намагнічувальну обмотку, а регулювання температури нагріву намагнічувальної обмотки виконують числом її витків через відгалуження);

і) по закінченню сушіння відключити і зняти намагнічувальну обмотку;

ї) скласти протокол сушки.

## 2 Сушка втратами у корпусі статора (рисунок 3.4)

Для цього необхідно:

а) розрахувати намагнічувальну обмотку в такій послідовності:

- визначають споживану потужність для сушіння, кВт

$$P_n = k \cdot F \cdot (t_{\text{корп}} - t_o),$$

де  $F$  – поверхня корпусу машини, м<sup>2</sup>;  $k$  – коефіцієнт теплопередачі: для неутеплюваної машини ( $k=0,012$  кВт/м<sup>2</sup>) і для утеплюваної ( $k=0,005$  кВт/м<sup>2</sup>);  $t_{\text{корп}}$  і  $t_o$  – відповідно температура максимального нагріву корпусу машини (приймається 90<sup>0</sup> С) і температура навколишнього середовища, <sup>0</sup> С;

- визначають величину питомих втрат потужності, кВт/м<sup>2</sup>

$$\Delta P = \frac{P_n}{F_a},$$

де  $F_a$  – поверхня корпусу машини, яка знаходиться під намагнічувальною обмоткою, м<sup>2</sup>;

- розраховують число витків намагнічувальної обмотки

$$W = \frac{U \cdot A}{L},$$

де  $U$  – напруга, яка підводиться до обмотки, В;  $A$  – коефіцієнт, який залежить від величини  $\Delta P$  (таблиця 3.1), кВт/м<sup>2</sup>;  $L$  – довжина одного витка, м;

Таблиця 3.1

Величина коефіцієнту А від  $\Delta P$ 

$\Delta P$	А	$\Delta P$	А	$\Delta P$	А	$\Delta P$	А
0,1	4,21	1,0	1,85	1,8	1,49	2,8	1,27
0,3	2,76	1,2	1,72	2,0	1,44	3,0	1,24
0,5	2,3	1,4	1,63	2,2	1,39	3,25	1,2
0,7	2,06	1,5	1,6	2,4	1,35	3,5	1,18
0,9	1,9	1,6	1,55	2,6	1,31	4,0	1,12

- розраховують силу струму в намагнічувальній обмотці, А

$$I = \frac{P_n}{U \cdot \cos \varphi},$$

де  $\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності (орієнтовно  $\cos \varphi = 0,5-0,7$ );

- перетин проводу вибрати по струму, виходячи із щільності струму  $3\text{А/мм}^2$ ;

- в якості джерел живлення найбільш зручними є зварювальні трансформатори, які дають низьку напругу і дозволяють регулювати силу струму;

б) утеплити корпус статора азбестовим полотном або картоном і ув'язати скляною стрічкою;

в) підготувати провід намагнічувальної обмотки (перетин і довжину відповідно розрахунку);

г) намотати намагнічувальну обмотку поверх утепленого корпусу, більшу частину витків розташувати в верхній частині корпусу для більш рівномірного нагріву статора;

д) підготувати і підключити зварювальний трансформатор, підключити до зварювального трансформатора намагнічувальну обмотку і прилади контролю;

є) виконати п. и,і,ї попереднього способу.

#### 4 Сушіння струмом КЗ в генераторному режимі

Цей спосіб застосовується для СМ і МПС (у якості генератора), які мають привідний двигун для їх обертання. При сушінні СМ (рисунок 3.5) всі 3 фази обмотки якоря замикаються.

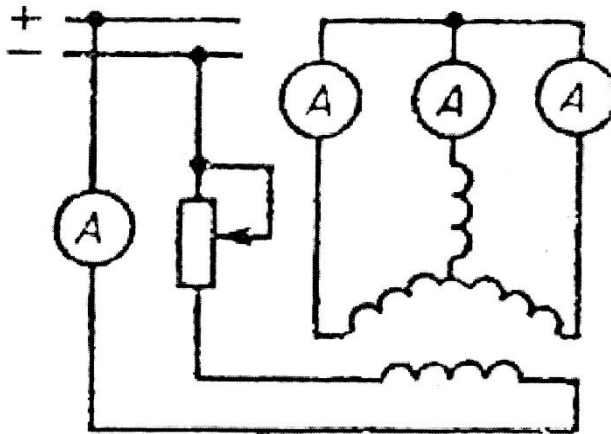


Рисунок 3.5 – Спосіб сушки ізоляції СМ та МПС

Обмотка збудження через регульовальний реостат і амперметр підключається до джерела постійної напруги. Генератор за допомогою привідного двигуна обертають або при номінальній частоті обертання, або при пониженій частоті обертання. Температура сушіння регулюється величиною струму обмотки збудження. Струм сушіння встановлюється приблизно 50-80% номінального струму. Для усунення вологи під час сушіння треба періодично відкривати на 10-15 хв. люки в щитах машини. Сушіння крупних машин і, особливо турбогенераторів в режимі КЗ, потребує великих витрат палива первинними двигунами. Якщо ще додати, що тривала робота парової турбіни при малому навантаженні викликає значні перегріву хвостової частини циліндру турбіни, а для деяких турбін цілковито недопустима, то стане явним, цей спосіб сушіння є найменш економічним, а інколи і недопустимим. Тому вказані причини роблять метод сушіння струмом КЗ прийнятним лише у дуже обмежених випадках.

При сушінні струмом КЗ МПС повинна бути врахована обов'язково робота генератора в цьому режимі, яка виражається у самозбудженні ГПС під впливом додаткових полюсів, створюючих намагнічування основних полюсів. У МПС (рисунок 3.6) обмотку якоря, обмотку додаткових полюсів замикають.

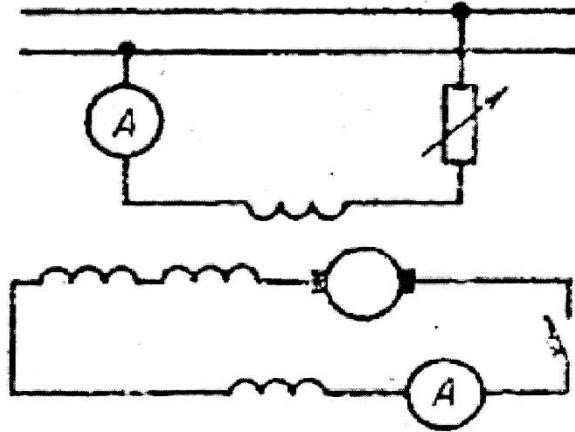


Рисунок 3.6 – Схема сушіння МПС

Послідовна (серієсна) обмотка відключена. При наявності послідовної обмотки збудження вона вмикається зустрічно, тобто на розмагнічування. Це пов'язано з тим, що, якщо послідовну обмотку і обмотку збудження (шунтову) вмикнути узгоджено, то це призведе до збільшення потоку основних полюсів і небезпечному збільшенню струму і руйнуванню машини. Живлення на обмотку збудження не подається. Перед пуском привідного двигуна траверсу з щітками щітки зрушують по напрямку обертання якоря на 1-2 колекторних пластини для того, щоб подовжена складова реакції якоря була більшою намагнічувальної дії додаткових полюсів (щоб зменшити появу великого струму), а після пуску - проти напрямку обертання до здобуття необхідної величини струму сушки, якщо струму сушки недостатньо (це роблять, якщо відсутня послідовна обмотка). Якщо в такий спосіб не вдається добитися необхідної величини струму сушки, то до джерела постійної напруги підключають обмотку збудження. Якщо струм КЗ (струм сушіння) без обмотки збудження перевищує допустиму величину струму сушіння, то в

обмотку якоря включають резистор малого опору. Струм сушіння повинен складати приблизно 50-80% номінального струму.

Не треба на ходу машини переміщувати траверсу для регулювання сили струму або для усунення іскріння.

#### 5 Сушіння ДПС поданням напруги при малій частоті обертання

Цей спосіб сушки застосовується для багатополюсних двигунів з петльовими обмотками якоря. Якщо у багатополюсному двигуні змінити полярність половині числа полюсів, наприклад, верхньої на зворотну, і живити струмом якір, то при однаковому потоці обох частин полюсів двигун буде нерухомий, так як обертаючий момент, створений верхньою половиною обмотки якоря, буде спрямований в один бік, а обертаючий момент нижньої половини – у зворотний, тобто, якщо момент нижньої половини якоря буде двигунним  $M_d$ , то момент верхньої половини буде гальмовим  $M_g$  і  $M_d = M_g$ , а результуючий  $M = 0$ . “Повзучу швидкість” (малу частоту обертання) можна отримати зміною напрямку потоку в частині полюсів при послідовному зєднанні котушок усіх полюсів шляхом перехрещення частини котушок полюсів. При цьому способі частині котушок обмотки збудження (близько 30%), змінюють полярність. Це забезпечує в ДПС здобуття гальмівного моменту. Тоді момент  $M_d$  буде більше моменту  $M_g$  і якір почне повільно обертатися в бік двигунного моменту, тобто двигун обертатиметься при малій частоті обертання. Струм сушіння регулюють величиною напруги, що подається на обмотку якоря, і він повинен складати 50-60% номінального струму. При використанні даного способу необхідно стежити за колом обмотки збудження щоб уникнути її обриву, так як в цьому випадку двигун наражається на небезпеку розгону; у колі збудження не повинно бути запобіжників. Для уникнення підгару колекторних пластин треба слідкувати за тим, щоб двигун не зупинявся, що може бути, наприклад, від пониження напруги або ж від різкого зростання моменту навантаження.

На обмотку якоря при використанні цього способу підводиться понижуюча напруга.

Для ДПС з хвильовою обмоткою якоря цим способом сушіння не проводять, оскільки стержні даної обмотки кожної паралельної гілки розташовані під всіма полюсами і в них утворюється однакова результуюча ЕДС.

Розглянутий метод сушіння є ефективним, так як швидкість двигуна доволі усталена, проводиться одночасне сушіння усіх обмоток машини і обертанням якоря запобігається підгар колекторних пластин.

#### 6 Сушіння методом вентиляційних втрат

Даний спосіб сушіння застосовується для швидкохідних синхронних машин залежно від конструкції їх системи вентиляції. Для сушіння в машинах з припливною системою вентиляції використовується замкнений цикл, для чого закривають вхід і вихід повітря назовні і перепускають з камери з гарячим повітрям в камеру з холодним. У СМ із замкнутою системою вентиляції припиняють або зменшують подачу води в охолоджувачі і машина сушиться за рахунок теплоти, що виділяється обмотками машини. Даний спосіб сушіння проводиться при номінальній частоті обертання. При цьому коло обмотки збудження має бути розімкнено, для чого з одного контактного кільця знімається щітка. Для забезпечення безпеки робіт обмотку якоря замикають накоротко. Температуру повітря регулюють точно також, як і при сушці способом КЗ. Для видалення водяної пари, що утворюється при сушінні через кожних 5-10 хв., відкривають вентиляційні люки в щитах генератора (крупних СМ). Сушіння методом вентиляційних втрат дає рівномірну температуру нагріву. У зв'язку з високими витратами його застосовують в комбінації з іншими способами сушіння.

Контрольні запитання:

1. Які є причини зволоження ізоляції ЕМ?

2. Як визначити ступінь зволоження ізоляції ЕМ експериментальним шляхом?
3. Як відбувається сушіння ізоляції зовнішнім нагрівом?
4. Як відбувається сушіння ізоляції нагріванням струмом від стороннього джерела?
5. Як відбувається сушіння ізоляції індукційним способом?
6. Як відбувається сушіння ізоляції струмом КЗ в генераторному режимі?
7. Як відбувається сушіння ізоляції подачею напруги при малій частоті обертання (для ДПС)?
8. Як відбувається сушіння ізоляції методом вентиляційних втрат?

## Тема 3.2 Обслуговування ізоляції обмоток ЕМ

## 3.2.1 Просочення і сушіння обмоток статорів ЕМ

Ізоляція обмоток ЕМ складається з розвинутої системи пор капілярів, які заповнені повітрям і вологою. Повітря і волога знижують електричну міцність виткової і корпусної ізоляції. Технологія просочення обмоток складається з трьох етапів:

- сушіння до просочення;
- просочення;
- сушіння після просочення.

Попереднє сушіння обмоток виконують в сушильній шафі при температурі 110-120<sup>0</sup> С. При цьому періодично випроваджують пари вологи з сушильної шафи. Процес сушіння контролюють по температурі у сушильній шафі і опору ізоляції обмоток. Критерій успішності сушіння характеризується коефіцієнтом абсорбції

$$K = \frac{R_{60}}{R_{15}} > 1,2,$$

де  $R_{15}$  – опір ізоляції після обертання ручки мегомметра через 15с після початку сушки;  $R_{60}$  – опір ізоляції після обертання ручки мегомметра через 60с.

Після висихання ізоляції коефіцієнт  $K$  збільшується. Він завжди більше одиниці і при сухій ізоляції може досягати 2-3. Величина його залежить від температури обмотки і з зростанням температури зменшується.

Треба врахувати, що для отримання правильних показань мегомметра треба усунути залишкові заряди ізоляції обмотки шляхом заземлення обмотки перед кожним виміром на декілька хвилин.

Паралельно з сушінням обмоток готують просочувальну ванну з лаком тієї марки, яка відповідає класу нагрівостійкості просочувальної ізоляції. Для кожної марки лаку по інструкції задається в'язкість лаку, яку перед просоченням перевіряють по віскозиметру ВЗ-4. В'язкість лаку виражається в секундах і регулюється відповідним збільшенням кількості розчинника або підігрівом ванни (для випаровування розчинника, якщо в'язкість низька). В'язкість лаку можна регулювати додаванням тієї ж марки лаку, але з іншою в'язкістю.

Після сушіння обмоток, їх охолоджують до температури 70-75<sup>0</sup> С, після чого їх поміщають у ванну з лаком для просочення. При такому рівні нагріву обмотки пори і капіляри ізоляції будуть дещо розширені, повітря буде розряджене, і більша її частина заповниться просочувальним лаком.

Просочення обмоток статорів і роторів виконують в такому положенні, щоб пори і капіляри були спрямовані перпендикулярно вгору, що сприяє кращому вилученню бульбашок повітря з обмотки і пазів при просоченні.

При просочуванні пазів статора і ротору необхідно пам'ятати наступне: будь-який лак в просочувальній ванні має у своєму складі 35-50% нелетких залишків, а інша частка – розчинник. Значить, при сушінні після першого просочення обмотки пори заповнюються в ізоляції приблизно наполовину. Тому обмотки ЕМ загального призначення просочуються двічі. При цьому підвищується вологостійкість ізоляції обмоток і поліпшуються інші властивості.

Сушіння просочувальних обмоток ведеться до тих пір, поки не припиниться відлипання лаку і опір ізоляції не досягне встановленого значення, яке потім протягом двох-трьох годин поступово збільшується. Після останнього сушіння обмотку при температурі 70<sup>0</sup> С покривають емалями відповідного класу нагрівостійкості. Вивідні кінці обмоток з гнучких проводів оберігають від теплового руйнування. До початку нагріву в сушильному

шкафу вивідні кінці покривають касторовою олією, плівка якої, захищає ізоляцію до температури  $170^{\circ}\text{C}$ .

Обмотки ЕМ, які працюють в умовах підвищеної вологості, наприклад, у водонасосних станціях, пропитуються, сушаться і покриваються емалями до п'яти разів.

### 3.2.2 Контроль опору ізоляції при сушінні

При сушінні опір ізоляції змінюється таким чином (рисунок 3.7). Спочатку при сушінні відбувається зниження опору ізоляції, потім його зростання, і в кінці сушіння його опір стабілізується. Щоб обмотка і активна сталь машини нагрівалися поступово, температуру підвищують за рахунок зміни струму сушіння рівнями або відключаючи машину на короткий час. Підвищувати струм сушіння можна лише тоді, коли встановлюється постійна температура обмоток. Сушіння припиняють, коли опір ізоляції залишається незмінним протягом 5-6 годин. Під час сушіння вимірюють опори ізоляції фаз обмоток відносно одна одної і опору ізоляції обмотки відносно корпусу.

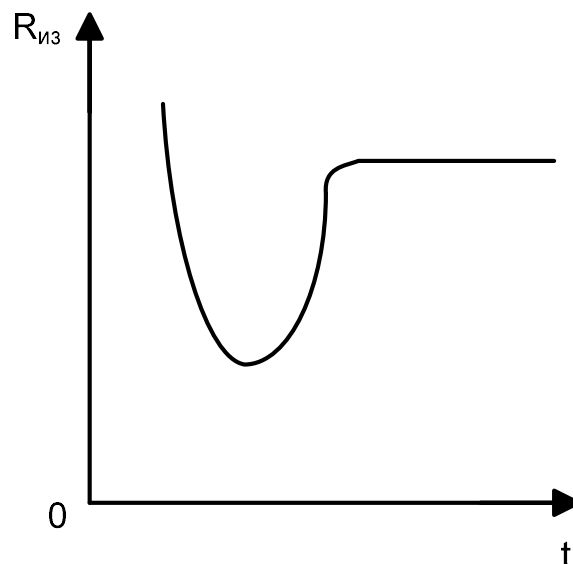


Рисунок 3.7 – Зміна опору ізоляції в процесі сушіння

Перед виміром усувають залишкові заряди ізоляції, для чого обмотку заземляють на декілька хвилин. На початку сушіння опір ізоляції вимірюють кожні 30 хв., а досягши сталої температури – через 1 годину.

Опір ізоляції обмоток і інших струмопровідних частин машини вимірюють за допомогою мегомметрів. В результаті виміру опору ізоляції при робочій температурі 75°C мають бути наступними:

- 1) у статорах ЕМ змінного струму на робочу напругу понад 1000 В – 1 МОм/кВ; нижче 1000 В – 0,5 МОм/кВ;
- 2) у якорях МПТ з робочою напругою до 750 В – 1МОм/кВ;
- 3) у СМ з врахуванням кола збудження і синхронних компенсаторів – 1 МОм/кВ;
- 4) у роторах ЕМ змінною струму - 0,2 Мом/кВ.

Максимальна температура під час сушіння в найбільш нагрітих частинах має бути:

- обмотка – 80<sup>0</sup> С (якщо вимір термопарами); якщо термометром -70°C;
- в місцях виходу повітря 65°C (термометром).

#### Контрольні запитання:

1. З яких етапів складається технологія просочення обмоток?
2. Який критерій використовується для оцінки ступеня зволоженості ізоляції?
3. Які є способи просочування обмоток ЕМ?
4. Які переваги та недоліки характерні для кожного із способів просочування ізоляції обмоток ЕМ?
5. Які є способи сушіння ізоляції обмоток ЕМ?
6. Охарактеризуйте кожен зі способів сушіння ізоляції обмоток ЕМ?
7. Як змінюється опір ізоляції обмотки ЕМ при сушінні?

8. Які значення характерні для нормального стану ізоляції ЕМ різного типу?

## Список використаної літератури

1. Chumack, V., Kovalenko, M., Tymoshchuk, O., Stulishenko, A., & Ihnatiuk, Y. (2023). Design of a multilink system for calculating high-frequency processes in electric machines with mesh windings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8 (123)), 54–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282375>.
2. Коваленко М.А., Маляр І.В. Експериментальний стенд з малопотужним трифазним асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* – 2018. - Том 29 (68) Ч. 1, №6. – С. 64 – 68.
3. М.А. Коваленко, О.Л. Тимощук, О.О. Самойленко Development of an device for small power direct current motors testing with electromagnetic excitation. *Енергетика: економіка, технології, екологія.* 2019. – № 3 – с 87-93.
4. V.V. Chumak, Y.O. Trotsenko, M.A. Kovalenko, Y.S. Ihnatiuk, A.S. Stulishenko. Study of physical processes in laminated magnetic cores of electric machines. *Енергетика: економіка, технології, екологія.* 2021. № 4. – с. 37-43.
5. Чумак, В., Коваленко, М., Тимощук, О., Ігнатюк, Є., & Коваленко, І. (2023). Комплексна оцінка якості ламінованих осердь електричних машин високочастотним індукційно-вібраційним методом. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика,* (2 (10)), 26–32.
6. Чумак, В., Коваленко, М., Коваленко, І., & Ткачук, І. (2023). Експериментальне дослідження універсального високошвидкісного колекторного двигуна змінного струму. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика,* (1 (9)), 39–44. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2023.1.06>.
7. Яцун М.А. *Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів.* – Львівська політехніка, 2010. – 228 с.

8. Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф. Електричні машини і апарати. – Л.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
9. Ялпачик В.Ф. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. – Мелітополь, 2014. – 235 с.
10. Яцун М.А. Електричні машини. – Львівська політехніка, 2011. – 464 с.
11. Маліновський А.А. Проектування електропостачальних систем загального призначення. Львівська політехніка, 2018. – 436 с.
12. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Нова редакція. Станом на 21.07.2017 р.. – Форт, 2017. – 760 с.
13. Augie Hand Electric Motor Maintenance and Troubleshooting. McGraw-Hill/Tab Electronics, 2011, 432 p.
14. Kwang Hee Nam AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications. – CRC Press, 2018. – 556 с.
15. John Bird Electrical and Electronic Principles and Technology. – Routledge, 2017. – 538 с.
16. Brian Scaddan Electrical Installation Work. – Routledge, 2018. – 332 с.
17. Gonen Electrical Power Transmission System Engineering. – Routledge, 2014. – 1096 с.
18. Навчальний посібник “Монтаж та випробування електричних машин” по дисципліні “Монтаж та випробування електричних машин” для студентів денної форми навчання. – Укл.: М. Г. Анпілогов, О. М. Давидов, М. О. Реуцький. - К.: НТУУ “КПІ”, 2013. – с.106.