

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ І АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

МОНТАЖ ТА ВИПРОБУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

навчальний посібник з кредитного модуля для
студентів напряму підготовки 6.050702 – “Електромеханіка”
спеціальності 7.05070201 – “Електричні машини і апарати”

Денна форма навчання

Київ
НТУУ “КПІ”
2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧЕСКИЙ ІНСТИТУТ"
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ І АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

МОНТАЖ ТА ВИПРОБУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

навчальний посібник з кредитного модуля для
студентів напряму підготовки 6.050702 – “Електромеханіка”
спеціальності 7.05070201 – “Електричні машини і апарати”

Денна форма навчання

Рекомендовано Вченою Радою ФЕА НТУУ “КПІ”

Київ
НТУУ “КПІ”
2013

Монтаж та випробування електричних машин: Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 – “Електромеханіка” спеціальності 7.05070201 – “Електричні машини і апарати” денної форми навчання /Уклад. М.Г. Анпілогов, О.М. Давидов, М.О. Реуцький. – К.: НТУУ “КПІ”, 2013. – с.

Рекомендовано Вченою Радою ФЕА НТУУ “КПІ”
(Протокол № _____ від _____ 20 р.)

Укладачі: Анпілогов Микола Георгійович, канд. техн. наук, доцент
Давидов Олексій Миколайович, канд. техн. наук, доцент
Реуцький Микола Олександрович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: О.М. Галіновський, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: М.Я. Островерхов, докт. техн. наук, доцент

ЗМІСТ

ВСТУП

1 Несправності електричних машин, їх виявлення і усунення	
1.1 Електричні відмови в асинхронних машинах (АМ).....	
1.1.1 Перегрів обмотки статора	
1.1.2 Перегрів обмотки ротору	
1.1.3 Обрив в обмотці статора	
1.1.4 Обрив в обмотці ротору	
1.1.5 Знижений обертаючий момент	
1.1.6 Способи перевірки правильності маркірування вивідних кінців обмотки статора	
1.1.7 Пошкодження білячих клітин, їх вплив на роботу двигуна	
1.1.8 Виявлення і усунення ушкоджень білячих кліток	
1.1.9 Нагрів і іскріння щіток і контактних кілець	
1.2 Електричні відмови в синхронних машинах (СМ).....	
1.2.1 Підвищений нагрів активної сталі якоря	
1.2.2 Перегрів обмотки якоря	
1.2.3 Перегрів обмотки збудження	
1.2.4 Несправності в пусковій клітці індуктора	
1.3 Електричні відмови у машинах постійного струму (МПС)	
1.3.1 Перегрів обмотки якоря	
1.3.2 Розмагнічування і перемагнічування генераторів	
1.3.3 При пуску двигуна його частота обертання надмірно зростає	
1.3.4 Двигун “гойдає” при послабленні магнітного потоку в обмотці збудження	
1.3.5 Перегрів машини постійного струму	
1.3.6 Іскріння щіток в МПС	
1.4 Механічні відмови в ЕМ	

2 Експлуатація електричних машин (ЕМ)	.....
2.1 Основні завдання експлуатації	.....
2.2 Структура керування електрогосподарством підприємства	.....
2.3 Зберігання і транспортування ЕМ	.....
2.3.1 Умови зберігання і транспортування ЕМ	.....
2.3.2 Загальний термін зберігання і транспортування ЕМ	.....
2.3.3 Класифікація приміщень з електроустановками на розміщення електроустаткування	.....
2.4 Вибір електродвигунів	.....
2.5 Режими роботи ЕМ (Держстандарт ГОСТ 183-75)	.....
2.6 Вибір електродвигунів для різних режимів роботи	.....
2.7 Вибір захисту електродвигунів	.....
2.8 Технічне обслуговування ЕМ	.....
2.8.1 Технічне обслуговування ЕМ малої і середньої потужності	.....
2.8.2 Технічне обслуговування ЕМ великої потужності	.....
2.9 Ремонт електричних машин	.....
2.9.1 Розбирання електричних машин	.....
2.9.2 Дефектація вузлів і деталей ЕМ	.....
2.9.3 Підготовка до заміни обмоток	.....
2.9.4 Поточний ремонт обмоток	.....
2.9.5 Капітальний ремонт обмоток	.....
2.9.6 Ремонт короткозамкнених кліток ротору	.....
2.9.7 Ремонт мідних і латунних короткозамкнених кліток роторів	.....
2.9.8 Ремонт одно-і двошарових концентричних обмоток статора	.....
2.9.9 Ремонт сердечників статорів і роторів ЕМ	.....
2.9.10 Підвищення надійності відремонтованої частини активної сталі	.....
3 Сушіння ізоляції ЕМ	.....
3.1 Загальні положення процесу сушіння	.....
3.2 Способи сушіння ЕМ	.....

3.3	Просочення і сушіння обмоток статорів ЕМ потужністю до 250 кВт
3.4	Контроль опору ізоляції при сушінні
4	Монтаж електричних машин
4.1	Перевірка ЕМ перед встановленням
4.2	Монтаж ЕМ потужністю до 1000 кВт
4.3	Монтаж ЕМ потужністю понад 1000 кВт
4.4	Пробний пуск ЕМ
4.5	Випробування ЕМ після монтажу
5	Збирання електричних машин
5.1	Підготовка ЕМ змінного струму до збирання
5.2	Пристосування для збирання ЕМ
5.3	Збирання ЕМ змінного струму потужністю до 250 кВт
5.4	Збирання ЕМ постійного струму
6	Випробування електричних машин
6.1	Програма випробувань машин змінного струму після капітального ремонту
6.2	Програма випробувань машин постійного струму після капітального ремонту
7	Структура електроремонтного підприємства
	Список використаної літератури

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 НТУУ "КПІ" спеціальності "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 в електричних машинах;
- ремонт електричних машин;
- монтаж електричних машин;
- технічне обслуговування;
- випробування 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 спеціальності “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.

1 Несправності електричних машин, їх виявлення і усунення

Електричні машини (ЕМ) найчастіше всього виходять із ладу із-за неприпустимо тривалого терміну 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).

1.1 Електричні відмови в асинхронних машинах (АМ)

1.1.1 Перегрів обмотки статора

- 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 живлячої напруги. 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, котушковій 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 ротору

Перегрівання фазної обмотки ротору і активної сталі сердечника 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 запуститься, 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 із-за 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

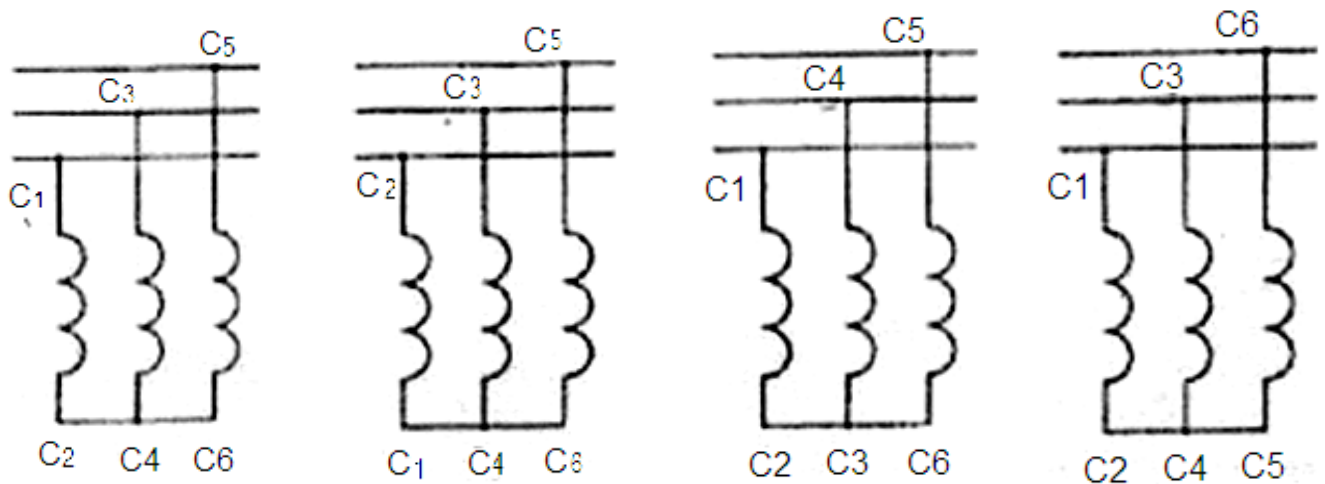


Рисунок 1.1

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 виходить, що одна з фаз обмотки статора перевернута. Методом послідовного перебору підключення фаз обмотки статора можна добитися нормальної роботи двигуна.

2 спосіб

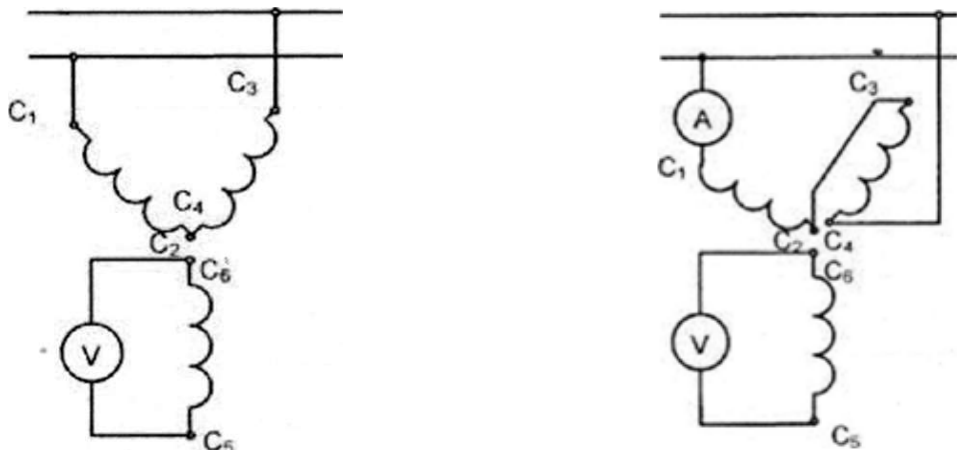


Рисунок 1.2

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

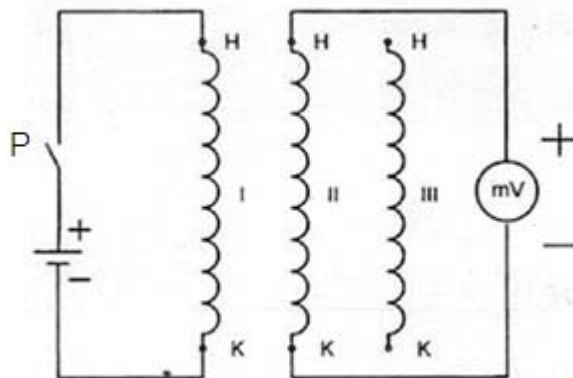


Рисунок 1.3

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

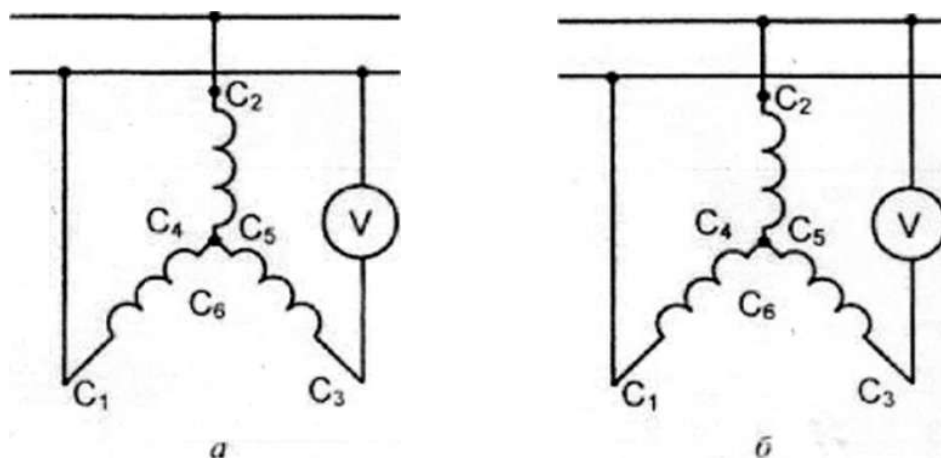


Рисунок 1.4

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.

Спосіб

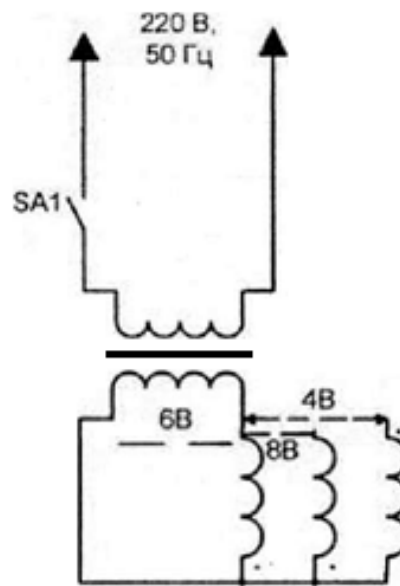


Рисунок 1.5

На рисунку 1.5 три обмотки сполучені в зірку довільним чином. На одну з обмоток подається напруга мережі. При безпосередньому включенні в мережу змінного струму його величина обмежується лампою розжарювання, опором послідовно включеного паяльника, ТЭМ, 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

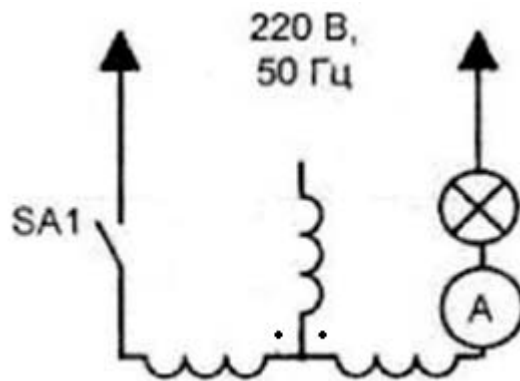


Рисунок 1.6

Дві фази обмотки двигуна, амперметр і лампочка включають послідовно (рисунок 1.6). Вимірюють струм при двох варіантах з'єднання. 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 об- моток, з'єднан- ня одноймен- них виводів, Ом	Опір двох об- моток, з'єднан- ня різноймен- них 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 одно- йменних виводів	Індуктивність двох обмоток, з'єднання різ- нойменних виводів
0,65, асинхронний	0,27 Гн	0,58 Гн	0,49 Гн
3, 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 рото- ра	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.

1.1.7 Пошкодження білячих клітин, їх вплив на роботу двигуна

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.

1.1.8 Виявлення і усунення ушкоджень білячих клітин

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 пошкодженному - слабе 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 $75-80^{\circ}\text{C}$ і просочують лаком ФЛ - 98. По віскозиметру ВЗ- 4 перевіряють в'язкість лаку, яка дорівнює 35-50 с.

1.1.9 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 щіткотримачів ;
- 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.

1.2 Електричні відмови в синхронних машинах (СМ)

1.2.1 Підвищений нагрів активної сталі якоря

Може виникнути із-за перевантаження ЕМ, від замикання в листах шихтованої сталі сердечника (при слабкому пресуванні на заводі-виробника). При слабкому пресуванні сердечника 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 сердечника. 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 вимірювальними 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 сердечника забивають клини з текстоліту, заздалегідь змащені в одному з лаків (№88, МЛ- 92 і т.п.). Перед расклиновкою 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 розклинують. Якщо після цього вібрація, що зудить, не проходить, необхідно повторити розклиновку листів сердечника до повного зникнення вібрації.

У високовольтних СМ якості ремонту перевіряють за допомогою індукційного методу.

1.2.2 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.

1.2.3 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.

1.2.4 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°C . 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.

1.3 Електричні відмови у машинах постійного струму (МПС)

1.3.1 Перегрів обмотки якоря

Причиною перегрівання обмотки якоря 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.

1.3.2 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 напря-

му 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).

1.3.3 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 надмірного 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 зрос-

тання 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 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".

1.3.5 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.

1.3.6 Іскріння щіток

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.

1.4 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 сердечника 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 сердечника 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.

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

2 Експлуатація ЕМ

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 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

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.

2.3 Зберігання і транспортування ЕМ

2.3.1 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 вентилязовані 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 $t^0 = +50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ з конденсацією вологи.

Додаткові умови: сонячна радіація 1125 Вт/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 $t^0 = +50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $t^0 = +50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ з конденсацією вологи.

Додаткові умови: наявність пилу, дереворуйнівних грибків і плісняви, сонячна радіація 1125 Вт/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 $t^0 = +60 \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ з конденсацією вологи.

Додаткові умови : наявність пилу, дереворуйнівних грибків і плісняви, сонячна радіація до 1125 Вт/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 $t^0 = +60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $t^0 = +50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $t^0 = +50\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість 100% при температурі до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ з конденсацією вологи.

Додаткові умови: наявність пилу.

2.3.2 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 талями, автокарами, вантажопідійомниками і т.п.

2.3.3 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 $t_0 = +30^0$ 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 транспортуючими 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.

2.4 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.

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 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 2.2).

Таблиця 2.2 – Атмосфери, що оточують ЕМ

Позначення	Тип атмосфери	Зміст корозійно-активних агентів	
	найменування	сірчистий газ (мг/м ³ на добу)	Хлориди (мг/м ³ на добу)
1	Умовно-чиста	до 20	менше 0,3
2	Промислова	20-110	менше 0,3
3	Морська	до 20	30...300
4	Приморсько- 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 вентильовані 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-IIIа; П-III.

Охарактеризуємо кожну з них:

П-I - зони в приміщеннях, в яких утворюються горючі рідини з температурою спалаху понад 61°C ;

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

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

П-III- зони в приміщеннях, в яких обертаються рідини з температурою спалаху понад 61°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 VI; В-Iа; В-Iб; В-1г; В-II; В-IIIа.

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-Iб - зони в приміщеннях, що і для В-Ia, 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-Iг - зони в приміщеннях або зовнішніх установок, у яких можуть міститися горючі гази або ЛЗР;

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

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.

4 По класу вібрації

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

- для $h < 80$ мм: $1,1 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$,
- 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; $1,8 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

5 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.

6 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 вибрати 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 макси-

мальна 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.

2.5 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 - перемежуючий 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 - перемежуючий 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 $FI = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 4$.

2.6 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 ΣP_{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 непрямої 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'язує еквівалентний струм з реальним струмом двигуна при змінному навантаженні

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

Для ступеневого графіку навантаження цей струм дорівнює:

$$I_{ek} = \sqrt{\frac{1}{T_y} \sum I_i^2 t_i} .$$

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

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

для ступеневого графіка навантаження

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

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

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

для ступеневого графіка навантаження

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

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 Φ 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

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

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

$$M_n \leq M_{ном} \quad ,$$

$$P_n \leq P_{ном} \quad ,$$

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

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

і по пусковим властивостям

$$M_n \geq M_n \quad .$$

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 $M_{ном.t_{p.cm}}$, $P_{ном.t_{p.cm}}$ - номінальні значення моменту і потужності двигуна, відповідні тривалості короточасної 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 вибирати 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

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

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

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

або еквівалентної потужності

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

Отримані значення еквівалентних величин повинні задовольняти наступним умовам:

$$M_{ek.ПВсм} \leq M_{ном.ПВсм} \quad ,$$

$$P_{ek.ПВсм} \leq P_{ном.ПВсм} \quad ,$$

де $M_{ном.ПВсм}$, $P_{ном.ПВсм}$ - 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 остаточна величина потужності або моменту двигуна, працюючого в даному режимі.

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

2.7 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 багатofазних КЗ і від мінімальної напруги, а в мережах з глухозаземленою нейтраллю - 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 багатофазних КЗ для блоків трансформатор (автотрансформатор) - двигун;
- для двигунів повинне бути передбачене автоматичне гасіння поля. При цьому для синхронних двигунів потужністю до 500 кВт даний пристрій не встановлюється.

2.8 Технічне обслуговування ЕМ малої і середньої потужності

2.8.1 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, щікотримачів. При огляді колектора перевіряють прорізку ізоляційних прокладок, які викону-

ються 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.

2.8.2 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 ко-

льору. 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 сердечника 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 простукуванням 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 посадку 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.

2.9 РЕМОНТ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

2.9.1 Розбирання 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 шківів за допомогою трьох лапчастого знімача. Знімаючи муфти, шківів, 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 деталей 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 серед-

ньої 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.

2.9.2 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.

2.9.3 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:

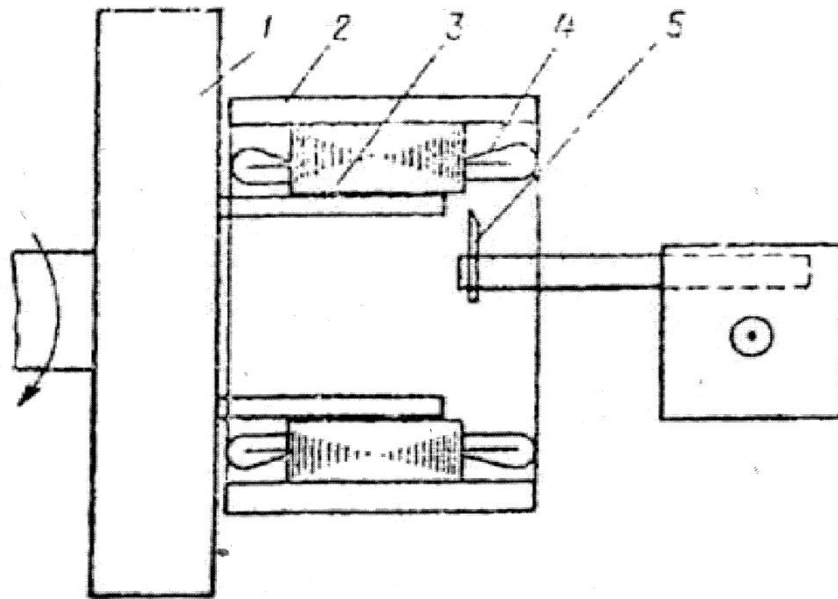


Рисунок 2.2

1 Заздалегідь розігрівають активну сталь разом з обмоткою до температури 350°C , що дає можливість вільно видалити проводи обмотки з пазів.

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

2.9.4 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 дрітаних 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.

2.9.5 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.

2.9.6 Ремонт короткозамкнених кліток 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 клі-

ток, 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).

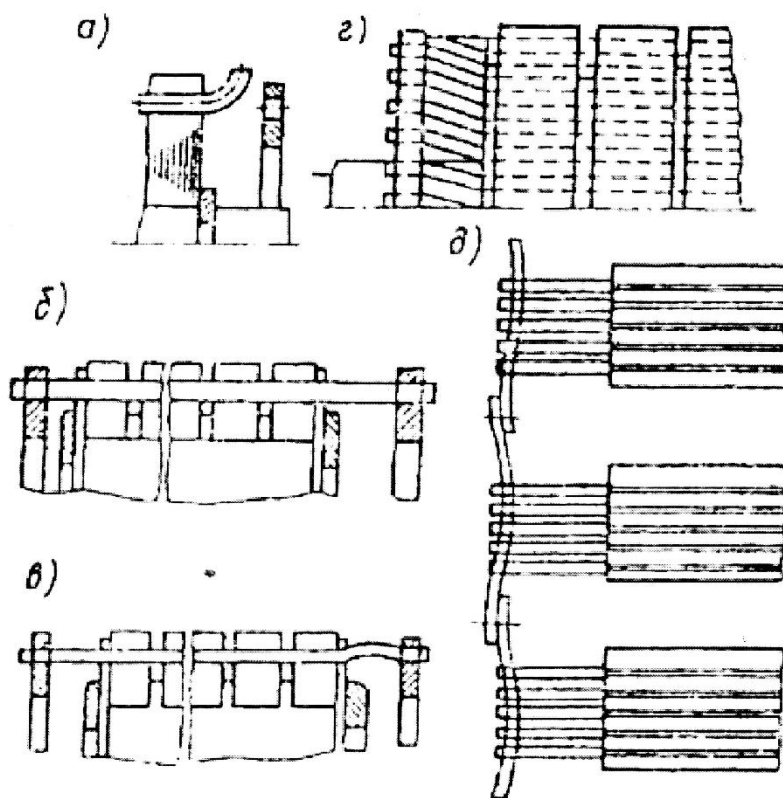


Рисунок 2.3

Різно 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.

Для заливки короткозамкнутої 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 способи застосовуються на ремонтних підприємствах, які мають відповідне устаткування. У ремонтних цехах практично ці методи не застосовуються із-за 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).

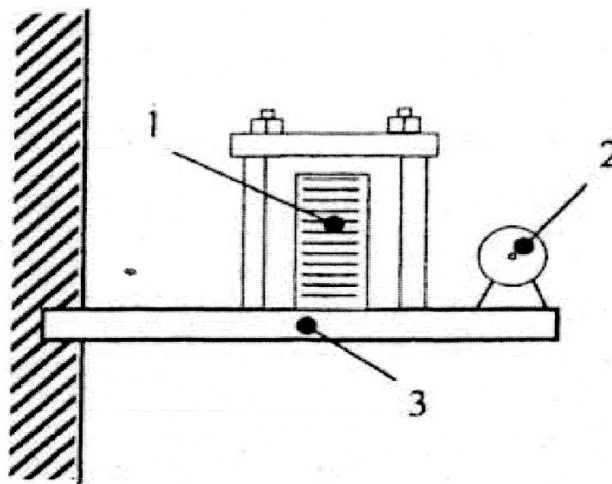


Рисунок 2.4

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.

2.9.7 Ремонт мідних н 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 сердечника 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 вийняти 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.

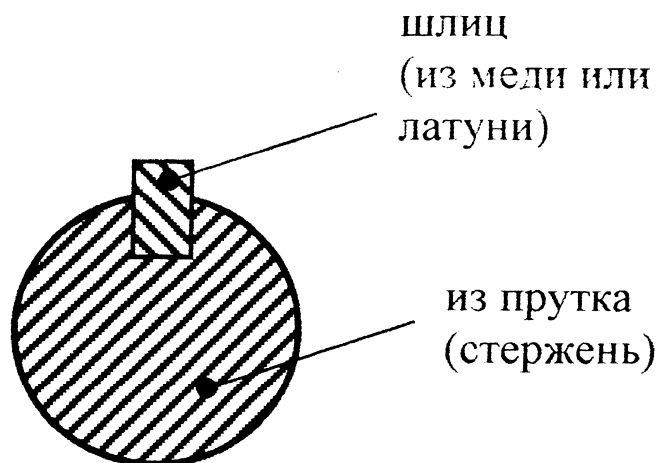


Рисунок 2.5

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° 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° 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.

2.9.8 Ремонт одно - і двошарових концентричних обмоток статору

Для механізованого укладання обмоток статорів двигунів серій АИ і АИР 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).

2.9.9 Ремонт сердечників статорів і роторів 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 сердечника 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 пропилені па-

зи за допомогою електрозварювання, і заварені ділянки зашліфовують 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 щупу 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 вирубають 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).

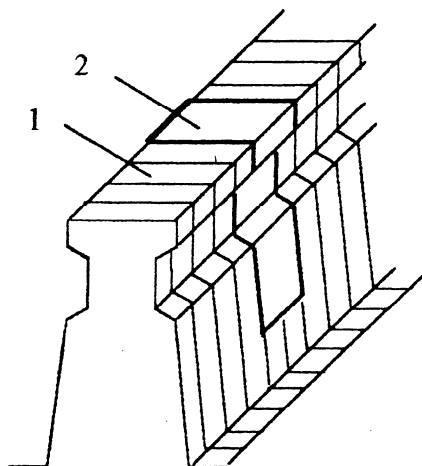


Рисунок 2.6

6) При ослабленні посадки сердечника 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 сердечника 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°C , просочують лаком БТ-99, сушать на повітрі і укладають обмотку ротору.

2.9.10 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 ро-

тору, 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°C до 0°C , розчинів солей, лугів, кислот, масел, спиртів, гасу, бензину.

3 Сушіння ізоляції електричних машин

3.1 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 зовні-

шніх 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 витoku 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 витoku залежно від випробувальної напруги будують залежність $I_{ут}=f(U_{исп})$, вигляд яких показаний на рисунку 3.1.

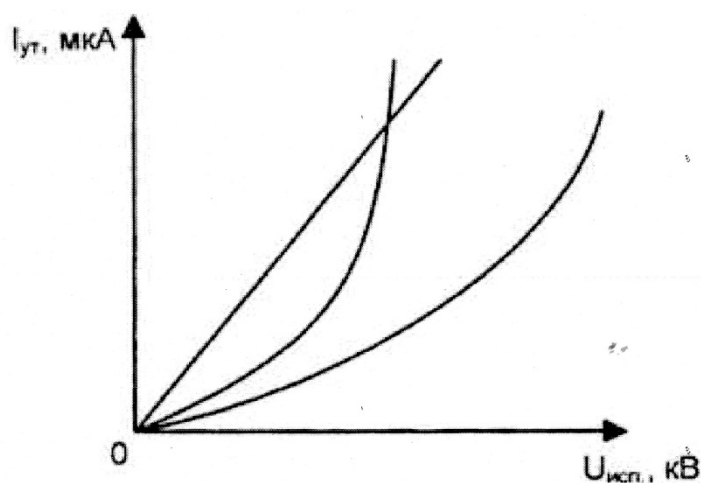


Рисунок 3.1

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 вентиля-

тором. 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.

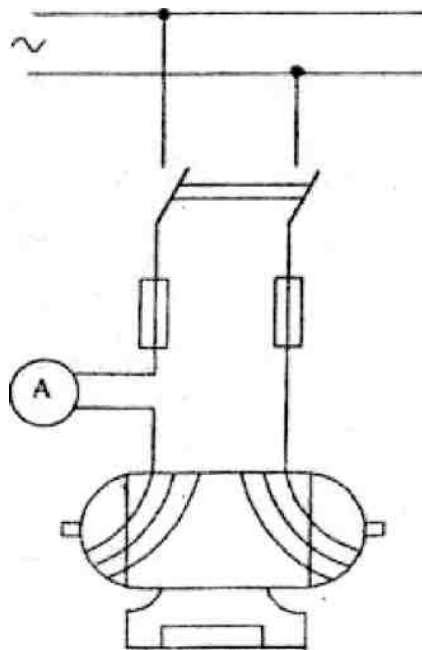


Рисунок 3.2

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 $65^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Контроль темпера-

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

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

3.2 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);
- 6) 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°C 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 повітродувки 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 – 70⁰ 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 (рисунк 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 -

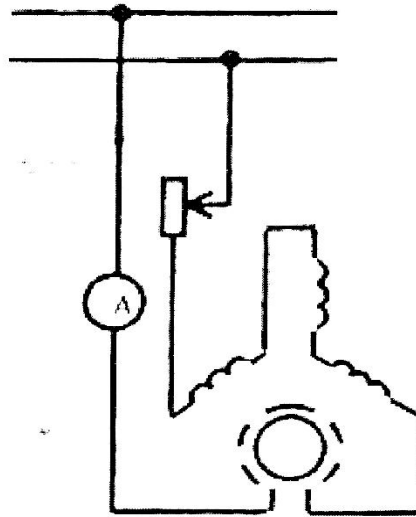


Рисунок 3.3

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° С.

Машини постійного струму

При сушінні машин постійного струму вказаним способом обмотка яко-ря 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 статора;
- 2) втратами у корпусі статора.

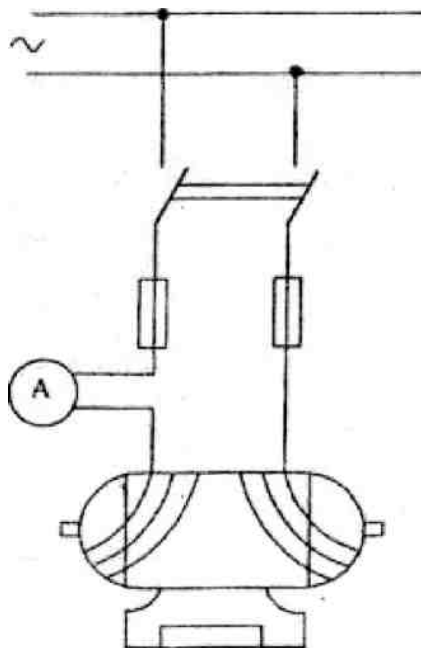


Рисунок 3.4

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 сердечника статора за рахунок великої різниці магнітної провідності сердечника статора і корпусу машини. В корпус буде відгалужуватися незна-

чний магнітний потік. У другому випадку обмотка намотується на корпус машини і нагрів машини досягається за рахунок втрат в корпусі статора 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, 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_z – 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 середньолегірованої 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 треба:

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^2 ; k – коефіцієнт теплопередачі: для неутеплюваної машини ($k=0,012 \text{ кВт/м}^2$) і для утеплюваної ($k=0,005 \text{ кВт/м}^2$); $t_{\text{корп}}$ і t_o – відповідно температура максимального нагріву корпусу машини (приймається 90°C) і температура навколишнього середовища, $^\circ \text{C}$;

- визначають величину питомих втрат потужності, кВт/м^2

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

де F_a – поверхня корпусу машини, яка знаходиться під намагнічувальною обмоткою, м^2 ;

- 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 ΔP (таблиця 3.1), кВт/м²; L – довжина одного витка, м;

Таблиця 3.1 – Величина коефіцієнту A від ΔP

ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A
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 3А/мм²;

- 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 конт-

ролю;

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 приводний двигун для їх обертання. При сушінні СМ (рисунок 3.5) всі 3 фази обмотки якоря замикаються.

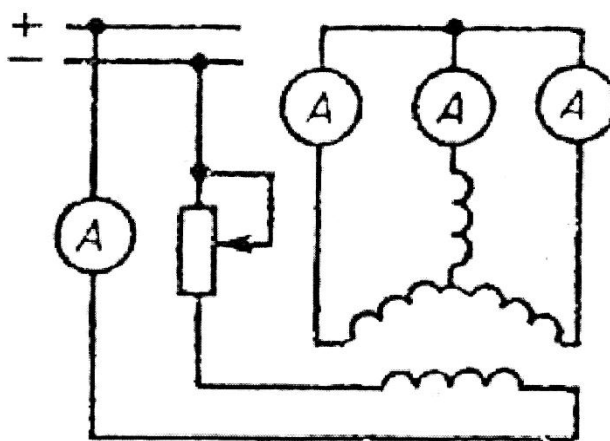


Рисунок 3.5

Обмотка збудження через регульовальний реостат і амперметр підключається до джерела постійної напруги. Генератор за допомогою приводного двигуна обертають або при номінальній частоті обертання, або при пониженої 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.

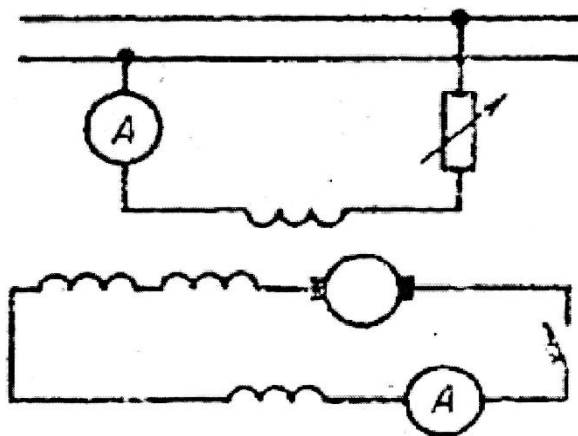


Рисунок 3.6

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 підклю-

чають 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 з’єднанні 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 замкнутий 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.

3.3 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 110-120⁰ С. При цьому періодично випроводжують 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 70-75⁰ 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 їх 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 статору 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 70⁰ 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 170⁰ С.

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

3.4 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.

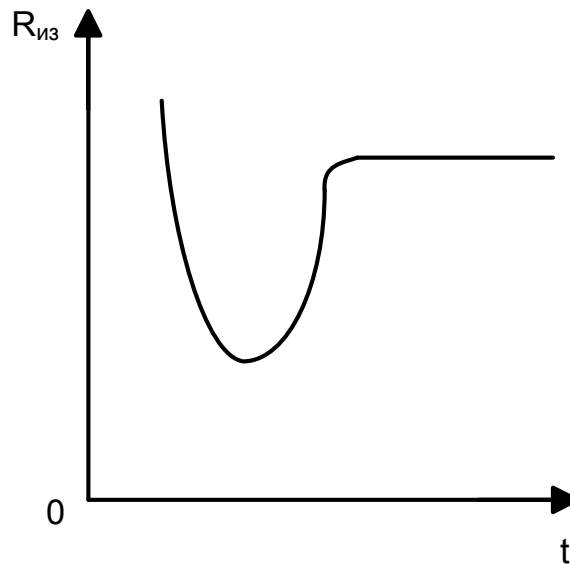


Рисунок 3.7

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 якорах 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°C (якщо вимір термопарами); якщо термометром – 70°C ;
- в місцях виходу повітря 65°C (термометром).

4 Монтаж електричних машин

4.1 Перевірка ЕМ перед встановленням

При відсутності сумнівів у правильному транспортуванні і зберіганні ЕМ, які надійшли з заводу-виробника в зібраному вигляді, не розбирають. Підготовка таких машин зводиться до виконання наступних операцій. Розглянемо на прикладі ЕМ великої потужності:

- 1) проводять зовнішній огляд;
- 2) проводять очищення фундаментних плит і лап станини;
- 3) промивають фундаментні болти і перевіряють якість їх різьби;
- 4) оглядають стан виводів, щіткового механізму, колекторів або контактних кілець і іншої апаратури з метою виявлення їх пошкоджень;
- 5) оглядають стан підшипників;
- 6) розкривають підшипники кочення і перевіряють наявність в них мастила;
- 7) перевіряють проміжок між ротором і статором;
- 8) перевіряють опір ізоляції обмоток щіткової траверси, ізольованих підшипників за допомогою мегомметра.

При відсутності впевненості, що під час транспортування та зберігання ЕМ надійшла в зібраному вигляді і залишилася непошкодженою, необхідність її розбирання визначається складанням спеціального акту.

При надходженні ЕМ в розібраному вигляді, крім зазначених вище операцій, виконують такі операції:

- 1) очищують різьбові з'єднання фундаментних плит, перевіряють якість різьблення, і при необхідності, усувають пошкодження;
- 2) перевіряють і при необхідності затягують болтові з'єднання;
- 3) перевіряють бабітову поверхню вкладишів підшипників, а також щільність прилягання посадочних місць;
- 4) зовнішнім оглядом перевіряють ізоляційний покрив лобових частин обмотки статора, а також справність ізоляції на виході з пазу осердя;
- 5) перевіряють надійність клинів, що фіксують провідники обмотки статора в пазах осердя;
- 6) перевіряють активну сталь статора і ротору на відсутність вм'ятин, забоїн, іржі;
- 7) температура приміщень, в яких встановлюють ЕМ та електрообладнання, не повинна бути нижче $+5^{\circ}\text{C}$;
- 8) електрообладнання з ЕМ не повинно бути встановлено в запилених і брудних місцях.

4.2 Монтаж ЕМ потужністю до 1000 кВт

Вивантаження ЕМ з різних транспортних засобів виконують за допомогою вантажопідйомних пристроїв: вантажопідйомників, кранів, талів тощо.

Огляд ЕМ перед установкою виконують на стендах або в спеціально відведеному місці приміщень цеху. Про всі виявлені дефекти доповідають керівництву монтажу. Якщо ЕМ не має пошкоджень, то проводять очищення їх внутрішніх частин за допомогою продування їх стисненим повітрям. При цьому вручну прокручують ротор машини. Зовні двигун протирають ганчіркою або дранням, змоченою у керосині. Під час монтажу проводиться промивка підшипників ковзання. Промивання здійснюється наступним чином: обертаючи вручну ротор, відкривають зливну пробку і зливають масло. Закривши пробку, в порожнину підшипникового вузла заливають керосин, вручну продовжуючи обертати ротор, відкривають пробку і зливають масло разом з ке-

росином. Так як керосин з першого разу не видаляється повністю з маслом, то повторно заливають масло, і операцію повторюють. Потім в підшипник заливають масло на 1/2 або 1/3 об'єму ванній підшипника.

Мастило в підшипниках кочення (роликові і кулькові) при монтажі ЕМ не замінюється, мастило заповнюється не більше 2/3 вільного об'єму підшипника. При монтажі ЕМ проводять вимірювання опору ізоляції:

1) У двигуні постійного струму вимірюють опір ізоляції між якорем і ко-тушками збудження. Перевіряють опір ізоляції якоря, щіток, котушок збудження по відношенню до корпусу. При цьому двигун повинен бути відключений від мережі. Між щітками і поверхнею колектора встановлюється ізоляційна прокладка, у якості якої в умовах ремонту можна використовувати міканіт, електрокартон, фібру, гумову трубку.

2) У трифазному асинхронному двигуні з КЗ ротором проводять вимірювання опору ізоляції обмотки статора щодо корпусу, а також по відношенню одної до іншої. Це можливо, якщо в обмотці статора виведені всі шість вивідних кінців. Якщо виведені тільки три вивідних кінця, то проводять вимір опору ізоляції відносно корпусу.

3) У асинхронних двигунах з фазною обмоткою ротора, крім визначення опору ізоляції обмоток статора і ротору по відношенню до корпусу і одної до іншої, вимірюють опір ізоляції щіток. Між щітками і контактними кільцями встановлюють ізоляційні прокладки.

4) Якщо опір ізоляції менше необхідного значення, то двигун піддається ретельному огляду і виявляють причину, яка викликала такий низький опір ізоляції. Якщо виявлена причина нескладна, то її усувають на місці монтажу. При істотному порушенні ізоляції двигун відправляють на завод-виробник. Дуже часто в умовах ремонту низький опір ізоляції пов'язаний з її підвищеною вологістю. У цьому випадку двигуну проводять контрольний прогрів або сушіння. Після перевірки двигуни, повністю підготовлені до роботи, доставляють до місця установки. Такі стендові заходи з монтажу електроустаткування

ня останнім часом знаходять широке застосування, забезпечуючи скорочення терміну по введенню їх в експлуатацію. Після доставки до місця установки проводять установку і кріплення ЕМ. Двигуни встановлюють безпосередньо на підлозі, на спеціальних конструкціях, на стінах і т. п. Причому двигуни масою до 50 кГ встановлюють вручну, більше 50 кГ - за допомогою вантажопідйомних засобів. Електродвигуни, які встановлюють на підлозі міжповерхових перекриттів на різних конструкціях або фундаменті з'єднують з робочими механізмами за допомогою муфт, зубчастих або ремінних передач. В даний час застосовують клиноподібну ремінну передачу.

4.3 Монтаж ЕМ потужністю понад 1000 кВт

Загальна послідовність монтажних робіт при встановленні машини великої потужності включає в себе наступні операції:

- 1) розпакування і розміщення частин машини на монтажному майданчику в машинному залі;
- 2) очищення частин машини від бруду, іржі, ревізія їх справності, очищення поверхні фундаменту, вивірка в горизонтальній площині машини і робочого механізму;
- 3) установка підшипникових стояків і ізоляції від фундаментних плит, якщо це передбачено заводом-виробником;
- 4) перевірка повітряного проміжку між статором і ротором;
- 5) поєднання валів ротора і робочого механізму;
- 6) перевірка та монтаж комутуючих пристроїв (траверси, щіток і т. п.);
- 7) обробка колектора і контактних кілець;
- 8) перевірка стану ізоляції і, при необхідності, контрольний прогрів або сушка;
- 9) монтаж системи змащення і примусової вентиляції, якщо це передбачено заводом-виробником;
- 10) підгонка підшипників і вкладишів ущільнення підшипників.

4.4 Пробний пуск ЕМ

Пробний пуск ЕМ є відповідальним етапом, яким завершуються монтажні роботи. Безпосередньо перед пуском ЕМ необхідно виконати наступні операції:

- 1) виміряти опір ізоляції силовий і допоміжних кіл машини, а також комутуючої апаратури;
- 2) перевірити дію захисної апаратури на відключення вимикача або автомата двократним опробування від руки;
- 3) перевірити правильне положення і справність щіток на колекторі (або контактних кільцях);
- 4) пустити в хід масляну систему підшипників у машинах з примусовим змащенням і переконатися в попаданні в зливний патрубок;
- 5) тимчасово встановити реле максимального захисту на струм спрацювання, що не перевищує 200% номінального струму;
- 6) за результатами огляду складають спеціальний протокол про можливість випробування ЕМ на ходу, тобто дається дозвіл на пробний пуск.

Пробний пуск ЕМ проводять поштовхом на протязі 1 - 2 с. без робочих механізмів (при неробочому ході). Прийнято прокручувати середні і великі машини постійного струму, СМ та АД з фазним ротором, а також двигуни приводів, які мають важкий запуск (наприклад, компресори). При першому пробному пуску ротор перевіряючої машини повинен зробити кілька обертів, не набираючи номінальної частоти обертання. Якщо він почав обертатися в необхідному напрямі і не спостерігається ненормальних явищ, проводять повторний пуск на більш тривалий час. За цей час прослуховують машину, щоб перевірити ненормальності в роботі підшипників та інших частин. Пуск проводять 2-3 рази із збільшенням тривалості включення. При нормальній роботі пускових пристроїв і придатності механічної частини машини, двигун розганяють до частоти обертання:

- СМ - до введення в синхронізм;

- АД з короткозамкненим ротором - повністю;
- АД з фазним ротором і двигуни постійного струму відповідають повністю виведеному пусковому реостату.

Після досягнення номінальної частоти обертання машину відключають. У процесі пробного пуску перевіряють відсутність вібрації, комутацію щіток, нормальний нагрів пускових опорів, роботу пристроїв, що регулюють частоту обертання. При задовільному результаті пробного пуску машину включають на 20-30 хв. При цьому перевіряють нагрівання обмоток, корпусу, швидкість і зростання температури і її значення. При цьому робочі механізми, що сполучаються з машиною відключені. Після пробного вмикання на 20-30 хв. виконують тривале включення ЕМ з робочим механізмом на обкатку на протязі 8-72 годин згідно з відповідною інструкцією. Обкатка необхідна для пришліфовки рухомих частин машини і робочого механізму, виявленню слабких місць управління і перевірки обладнання і робочого механізму на нагрівання.

4.5 Випробування ЕМ після монтажу

Випробування ЕМ при неробочому ході і під навантаженням включає:

- 1) перевірка роботи підшипників;
- 2) відповідність частоти обертання паспортним даним і межах її регулювання;
- 3) перевірка комутації;
- 4) перевірка систем охолодження, змащення і вібрації.

Стан підшипників контролюють при випробуванні машини при неробочому ході і під навантаженням. Особливо ретельно треба стежити за температурою. Максимально допустима температура підшипників ковзання 80°C , а підшипників кочення – 90°C . Однак такі значення температур підшипників при роботі машини вказують на дефекти, які вони можуть мати. При нормальній роботі підшипників їх температура повинна становити $50\ldots 60^{\circ}\text{C}$. Для си-

льно перегрітих підшипників характерним є виділення газів з підшипників. При виявленні такого дефекту машина повинна бути негайно відключена.

Перевірка частоти обертання і меж її регулювання (у машин з регульованою частотою обертання) здійснюється в тому випадку, якщо при випробуванні машини при неробочому ході не вдалося виявити дефекти, які вимагають усунення. При виявленні будь-якого дефекту (шуми, стуки, сильна вібрація) машину необхідно відключити. Після усунення несправностей її знову запускають при неробочому ході. Переконавшись, що дефекти машини усунені, частоту обертання доводять до номінальної і перевіряють межу регулювання. Частоту обертання машини контролюють за допомогою тахометрів, стробоскопів і т. п.

Комутацію машин постійного струму встановлюють, спостерігаючи за колектором під час поштовхів струму при роботі машини при неробочому ході, максимальній напрузі і частоті обертання. Характер іскріння щіток співсталяють з класифікаційною шкалою Держстандарту ГОСТ 183-75, згідно з яким встановлено 5 ступенів іскріння (класів комутації), а саме:

1 - відсутність комутації. Отримала назву "темної" комутації. При тривалій роботі колектор і щітки придатні для всіх режимів роботи машини.

$1\frac{1}{4}$ - приблизно під чвертю всіх щіток спостерігається точкове іскріння.

Допускається робота для всіх номінальних режимів роботи.

$1\frac{1}{2}$ - приблизно в половині всіх щіток спостерігається іскріння. Допуска-

ється робота для всіх номінальних режимів роботи.

2 - під більшою частиною всіх щіток спостерігається істотне іскріння. При цьому при тривалій роботі на колекторі спостерігаються сліди почорніння, а на щітках - сліди підгару. Такий режим допускається при короткочасних перевантаженнях машини.

3 - істотне іскріння під всіма щітками. При тривалій роботі на колекторі з'являється значне почорніння. На щітках - значний підгар. Ці явища нічим не усуваються і при цьому класі комутації може з'явитися явище, яке називається **круговий вогонь**, в результаті чого відбувається повне руйнування щіток. При класі комутації **3** машина повинна бути негайно відключена від мережі.

При перевірці комутації, коли машина працює при неробочому ході, виконують *кінцеве встановлення щіток на нейтралі*. Способи встановлення щіток на нейтралі в умовах ремонту наступні:

1) Машина працює в режимі неробочого ходу. Режим генератора.

При постійному опорі кола збудження і незмінною частотою обертання траверсу зі щітками переміщують по колектору. Встановлення щіток на нейтралі відповідає максимальній напрузі на щітках.

2) Машина працює в режимі неробочого ходу. Режим двигуна.

При встановленні щіток на нейтралі частота обертання двигуна при обертанні якоря вперед і назад однакова за умови незмінності напруги і незмінності потоку збудження.

Після виявлення та усунення помічених несправностей ЕМ відправляють в експлуатацію.

5 Збирання електричних машин

5.1 Підготовка ЕМ змінного струму до збирання

Всі деталі, які надійшли для збирання, перевіряються, тобто здійснюється вхідний контроль. Процес підготовки деталей до збирання проводиться:

*** в статорі :**

- 1) перевіряють сердечник, його кріплення в станині;
- 2) лезом ножа або щупом перевіряють щільність шихтовки, відсутність розпушення крайніх листів;

3) зовнішнім оглядом перевіряють відсутність замикань в листах активної сталі;

4) перевіряють обмотку статора на ув'язку лобових частин;

5) перевіряють закладання вивідних кінців обмотки, їх ізоляцію по довжині і в місцях пайки з обмоткою;

6) проводять випробування обмотки статора підвищеною напругою, після чого на рим-болт вивішується бирка, яка свідчить про право передачі її на збирання;

7) вивідним кінцям виконують маркірування;

8) зовнішнім оглядом перевіряють стан станини, опорні лапи на відсутність тріщин, раковин і т.п.;

*** в роторі:**

1) перевіряють посадку осердя на вал;

2) візуально перевіряють стан стержнів і короткозамкнених кілець на відсутність тріщин, розривів, особливо в місцях пайки стержнів і кілець;

3) перевіряють посадочні місця валу, шпонкові канавки, комплектність кріплення і т.п.;

4) у роторі з фазною обмоткою перевіряють стан обмотки, бандажів, контактних кілець, щіткового вузлу і його комплектність.

5.2 Пристосування для збирання ЕМ

При розбиранні та збиранні ЕМ змінного і постійного струму використовуються стандартні і спеціальні пристосування. Розглянемо деякі з них, які застосовуються для АМ.

При насадженні на вал машини передавальних деталей (напівмуфти, шківів, шестерні) не допускаються зусилля на підшипники. Для цього в умовах ремонту можна використовувати просте пристосування, яке складається з двох швелерів з двома стяжними шпильками. В один швелер упирають зад-

ній торець валу, а в інший – вварюють гайку і гвинтом напресовують шків на привідний кінець валу, виключаючи при цьому удари по шківу.

При монтажу підшипникових щитів за технологією виготовлення підшипники кочення перед посадкою їх на посадочні місця підігрівають в мінеральному маслі до температури 80^0 - 100^0 С. При цьому розміри підшипника збільшуються, що створює труднощі при встановленні щита на підшипник.

Для полегшення посадки щита використовують індукційний нагрівач (рисунок 5.1), який складається з П - образного сердечника 4 і котушки 5, яка підключена до джерела змінної напруги.

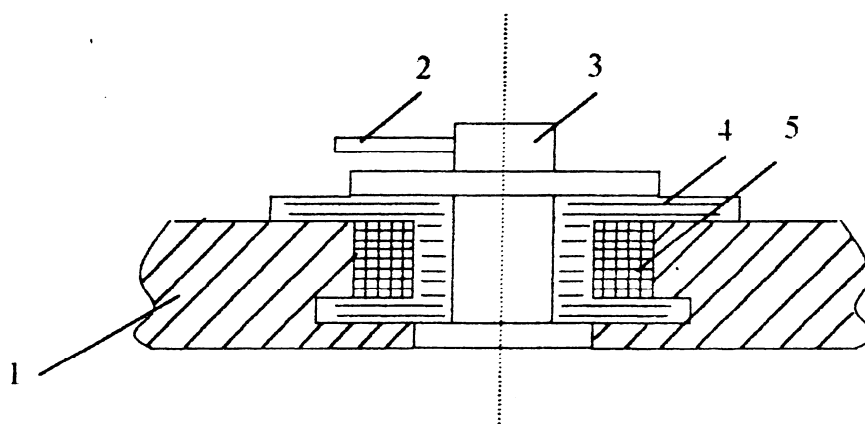


Рисунок 5.1

Магнітний потік, створений цією котушкою, проходить через підшипниковий щит і за рахунок вихрових струмів нагріває його, після чого щит вільно насаджується на підшипник. За кілька хвилин таке пристосування нагріває щит до температури 120^0 – 130^0 С.

До початку збирання ЕМ виконують заготівлю різних пристосувань, інструменту, вимірювальних приладів, мастила, розчинників і т.п.

5.3 Збирання ЕМ змінного струму потужністю до 250 кВт

ЕМ потужністю до 250 кВт виготовляють на підшипниках кочення, які конструктивно встановлюються в підшипникових щитах, тому підготовка

ЕМ до збирання передбачає також підготовку підшипникового вузла до початку загального збирання машини. Перед введенням ротора у статор для виключення пошкодження поверхні сердечника статора і ротора укладають на нижній поверхні розточки статору електрокартон. Потім по напрямним шпилькам, вставлених у внутрішні кришки підшипників з боку, протилежного робочому кінцю валу, насаджують перший підшипниковий щит і даний щит наживляють за допомогою болтів до станини машини. Відповідно встановлюється другий підшипниковий щит. Потім легкими ударами молотка (мідного) підтягують і запресовують щит в станину. При цьому затягують щит в діаметрально-протилежних точках, щоб виключити перекіс ротору. По мірі затягування болтів, вручну, перевіряють обертання ротору. Встановлюють зовнішній вентилятор і кожух, якщо це конструктивно передбачено, збирають щітковий вузол двигуна з фазним ротором, закріплюють кінці обмотки статору, встановлюють рим-болт. Потім перевіряють опір ізоляції обмоток статору мегомметром на напругу 1000 В, а для роторів – мегомметром на напругу 500 В. Якщо в конструкції АМ передбачені люки в підшипникових щитах, то за допомогою щупа можна перевірити проміжок між статором і ротором у зібраній машині. Якість збирання ЕМ перевіряють подачею напруги від потенціал-регулятора або від мережі напругою змінного струму протягом 5 хвилин.

Після збирання машину передають на випробувальну станцію, після чого насаджують шків, муфти і т.п.

5.4 Збирання ЕМ постійного струму

Підготовку до складання машини починають з магнітної системи (індуктора) і підшипникових щитів. На вал якоря насаджують вентилятор, якщо це передбачено конструкцією. На обидві кінці валу насаджують кришки і підшипники кочення. У корпус машини встановлюють головні і додаткові

полюси, які попередньо збираються. При збиранні магнітної системи необхідно забезпечити хорошу симетрію магнітного потоку, так як це суттєво впливає на комутуючу здатність машини. У МПС станина є частиною магнітної системи.

Встановлення головних і додаткових полюсів виконують симетричними між собою з найменшою різницею кроку між їх наконечниками в межах:

- для головних полюсів – до 2 мм;
- для додаткових полюсів – до 1 мм від збігаючого головного полюсу до набігаючого краю додаткового полюсу.

Правильність встановлення полюсів перевіряється за допомогою нутромірів (шаблонів). Контакт сталі полюсів і станини повинен бути достатньо надійним. Зусилля затяжки кріплення головних і додаткових полюсів можна контролювати динамометром або тарованими ключами по нормам допустимих зусиль.

Для з'єднання між собою обмотки якоря, додаткових полюсів, збудження встановлюються перемички. Полярність полюсів перевіряють по відхиленням магнітної стрілки при подачі на обмотку збудження напруги постійного струму величиною, яка дорівнює приблизно 5-6% номінальної напруги. При цьому виходять з того, що полюси машини притягуються при різній полярності і відштовхуються при однойменній полярності. Тому полярність слід перевіряти наступним чином:

* у двигунів – за головним полюсом даної полярності знаходиться додатковий полюс тієї ж полярності, якщо дивитися у напрямку обертання якоря (рисунок 5.2);

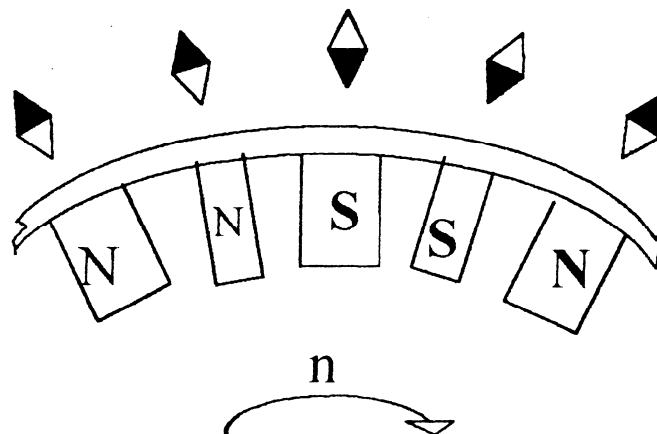


Рисунок 5.2

* у генераторів – за головним полюсом даної полярності знаходиться додатковий полюс протилежної полярності, якщо дивитися по напрямку обертання якоря (рисунок 5.3).

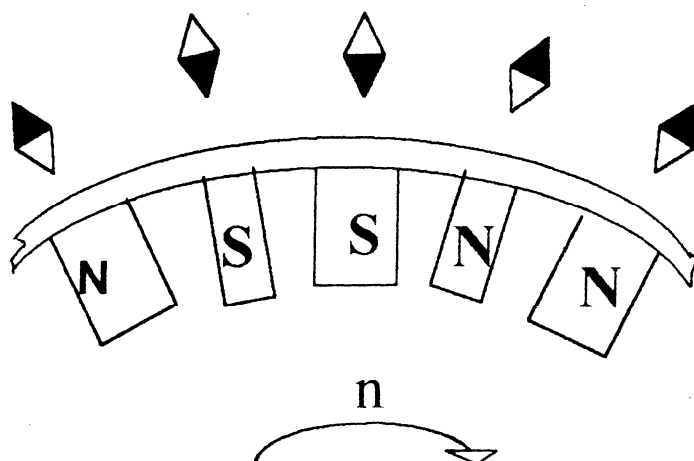


Рисунок 5.3

Підготовлений індуктор покривають всередині ізоляційною емаллю повітряної сушки (наприклад, марки ГФ-92-ХС).

У підшипникового щита з боку колектора встановлюється щітковий пристрій з щікотримачем і щітками. Потім заводять якір в індуктор, встановлюю-

ють підшипникові щити і тільки після цього регулюють встановлення щіткотримачів.

Комутація МПС залежить від того, наскільки правильно витримані відстані між щітками різної полярності (не більше 0,5% від загальної відстані).

Зібравши електродвигун постійного струму і виконавши притирання машини, її передають на випробувальну станцію.

6 Випробування електричних машин

Після ремонту ЕМ піддається випробуванням, обсяг яких залежить від типу машини і виду проведеного ремонту. Значення отриманих при випробуваннях параметрів повинні бути порівняні з вихідними або результатами попередніх випробувань ЕМ. Тільки після цього дається висновок про придатність до експлуатації тієї чи іншої ЕМ.

Під вихідними даними розуміють паспортні дані або дані в протоколі випробувань заводу-виробника. За відсутності таких даних в якості вихідних можуть бути прийняті значення параметрів, отриманих при прийнятно-здавальних випробуваннях або випробуваннях по закінченні відновлюваного ремонту.

6.1 Програма випробувань машин змінного струму після капітального ремонту

Така програма проводиться в терміни, встановлені системою ППР (для двигунів, що працюють в особливо тяжких умовах, не рідше одного разу в два роки), і включає в себе наступні пункти:

1 Випробування сталі статора двигунів з прямокутними проводами:

- питомі втрати в сталі не більше 5 Вт/кг;

- найбільше перевищення температури зубців статора при магнітній індукції 1 Тл не повинно перевищувати 45⁰ С;

- найбільша різниця перевищень температури різних зубців при магнітній індукції 1 Тл не повинна перевищувати 30⁰ С.

2 Вимірювання опору ізоляції обмоток статора, ротору, елементів термоелектричних перетворень із сполученими проводами (якщо передбачено конструкцією) і підшипників:

- опір обмоток статора в холодному стані не менше 3 Мом. Для двигунів з напругою до 0,66 кВ – не менше 0,5 Мом;

- для двигунів з напругою понад 0,66 кВ опір ізоляції обмотки статора не нормується;

- не нормується також опір ізоляції обмотки ротору, термоперетворювачів і підшипників.

3 Випробування обмоток статора і ротору підвищеною напругою промислової частоти при тривалості випробувань протягом однієї хвилини. Випробувальні напруги наведені в таблицях 6.1- 6.5.

Таблиця 6.1 – Випробувальна напруга підвищеною напругою

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга для двигунів на номінальну напругу, кВ							
	до 0,66	2	3	6	10	3	6	10
	потужністю до 1000 кВт					потужністю більше 1000 кВт		
Шпіндельна катушка (стержень)	35	11	13,5	21,1	31,5	13,5	23,5	34
Обмотка після вкладання в пази до пайки між-	3,5	9,0	11,5	18,5	29	11,5	20,5	30

котушечних з'єднань								
Обмотки після пайки і ізолювання з'єднань	3,0	6,5	9,0	15,8	25	9	18,5	27
Головна ізоляція обмотки зібраної машини	$2U_n+1$ (не менше 1,5 кВ)	5,0	7,0	13,0	21	7	15	23

Таблиця 6.2 – Випробувальна напруга при ремонті обмоток ротору

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга, кВ
<u>Повна заміна обмотки:</u>	
* окремі стержні до укладки у пази	$2U_p + 3,0$
* стрижні після укладання у пази до з'єднання	$2U_p + 2,0$
*обмотка після з'єднання, паяння і накладання бандажу	$2U_p + 1,0$
*контактні кільця до з'єднання з обмоткою	$2U_p + 2,2$
<u>Часткова заміна обмотки:</u>	
*решта обмотки після виїмки замінених котушок, секцій або стрижнів	$2U_p$ (але не менше 1,2 кВ)
*вся обмотка після приєднання нових котушок, секцій або стрижнів	

женів	$1,7U_p$ (але не менше 1,0 кВ)
-------	--------------------------------

Примітка: Під U_p розуміють напругу на кільцях нерухомого ротору з розімкнутою обмоткою ротора при номінальній напрузі на статорі.

Таблиця 6.3 – Випробувальна напруга при ремонті обмоток ротору АД

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга, кВ при потужності, кВт	
	0,2 - 10	10,1 - 1000
Обмотки після укладання в пази до пайки міжкотушочних з'єднань	2,5	3,0
Обмотки після пайки і ізолювання міжкотушочних з'єднань	2,3	2,7
Обмотки после пропитки и запрессовки обмотанного сердечника	2,2	2,5
Главная изоляция обмоток собранного двигателя переменного тока	$2U_n+1$ (не менее 1,5 кВ)	

Таблиця 6.4 – Випробувальна напруга при капітальному ремонті двигунів без заміни обмоток

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга, кВ
Обмотка статору двигуна потужністю 40 кВт і більше і двигуна відповідального механізму з номінальною напругою до 0,4; 0,5; 0,66; 2; 3; 6; 10 кВ (проводиться зразу після зупинки двигуна до очищення	1; 1,5; 1,7; 4; 5; 10; 16

його від забруднень)	
Обмотка статора двигуна потужністю менше 40 кВт з номінальною напругою до 0,66 кВ	1,0
Обмотка ротору синхронного двигуна з безпосереднім пуском і з обмоткою збудження, замкнутою на резистор або джерело збудження	1,0
Фазна обмотка ротору асинхронного двигуна	$1,5U_p$ (але не менше 1,0 кВ)
Резистори у колі гашення поля (синхронні двигуни) Реостати і пускорегулюючі резистори	$1,5U_p$ (але не менше 1,0 кВ)

Таблиця 6.4 - Випробувальна напруга при частковій заміні обмотки статора

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга, кВ
Запасні котушки, секції або стержні до укладання	$2,25U_n+2$
Те ж після укладання в пази до з'єднання з старою частиною обмотки	$2U_n+1$
Залишаюча (стара частина обмотки)	$2U_n$
Головна ізоляція обмотки повністю зібраного двигуна	$1,7U_n$

4 Вимірювання опору обмоток статора і ротору постійному струму (проводиться для двигунів потужністю 300 кВт і більше або для двигунів з напругою

понад 3 кВ), а також опору постійному струму реостатів і пускорегулювальних резисторів. Відхилення значень опорів обмоток від паспортних і за фазами – не більше $\pm 2\%$, а для реостатів – не більше $\pm 10\%$.

5 Випробування виткової ізоляції обмоток з прямокутного проводу імпульсною напругою високої частоти протягом 5-10с. Випробувальні напруги наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Випробувальна напруга при частковій заміні обмотки статору

Тип ізоляції витків	Амплітуда напруги, В	
	до укладання секцій у пази	після укладання і накладання бандажів
Провід ПБО	210	180
Провід ПБД, ПДА, ПСД	420	360
Провід ПБД с одношаровою ізоляцією із паперової стрічки врівнахльосту	700	600
Провід ПБД і ПДА з ізоляцією шаром міканіту через виток	700	600
Провід ПБД і ПДА з прокладками міканіту в пазовій частині між витками	1000	850
Провід з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм врівнахльосту	1100	950
Провід ПБД з одношаровою ізоляцією шовкової лакотканини товщиною 0,1 мм врівнахльосту	1400	1200
Провід ПБД і ПДА з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм врівнахльосту або 1/3 нахльосту	1400	1200

Провід ПБД або ПДА з одношаровою ізоляцією мікастрічки товщиною 0,13 мм або врівнахльосту і зверху одним шаром бавовняної стрічки впритул	2100	1800
Провід ПДА, ізольований двома шарами мікастрічки товщиною 0,13 мм врівнахльосту	2800	2400

6 Вимірювання повітряного проміжку (якщо дозволяє конструкція машини) в чотирьох зсунутих на 90 градусів точках. Виміряні проміжки не повинні відрізнятися від середнього значення більше, ніж на 10%.

7 Вимірювання проміжків у підшипниках ковзання (допустимі значення проміжків наведені у таблиці 6.6). Якщо проміжок більше допустимого, треба перезалити вкладиш підшипника.

Таблиця 6.6 - Максимально допустимі проміжки в підшипниках ковзання

Номінальний діаметр валу, мм	Проміжок, мкм, при частоті обертання, об/хв.		
	до 1000	1000 – 1500	більше
18 – 30	40 – 93	60 – 130	140 – 280
31 – 50	50 – 112	75 – 160	170 – 340
51 – 80	65 – 135	95 – 195	200 – 400
81 – 120	80 – 160	120 – 235	230 – 460
121 – 180	100 – 195	150 – 285	260 – 530
181 – 260	120 – 225	180 – 300	300 – 600
261 – 360	140 – 250	210 – 380	340 – 680
361 – 600	170 – 305	250 – 440	380 – 760

8 Перевірка роботи двигуна при неробочому ході і (для двигунів потужністю 100 кВт і більше, напругою 3 кВ і більше) виміряний струм неробочого ходу не по-

винен відрізнятись більше, ніж на 10% значення, зазначеного в каталозі. Тривалість випробування одна година.

9 Вимірювання вібрації підшипників (для двигунів напругою менше 3 кВ і для двигунів відповідальних механізмів). Максимально допустима амплітуда вібрацій:

- для двигунів з частотою $n = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$ – 50 мкм;

- для двигунів з частотою $n = 1500 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$ – 100 мкм;

- для двигунів з частотою $n = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$ – 130 мкм;

- для двигунів з частотою $n = 750 \frac{\text{об}}{\text{хв.}}$ – 160 мкм.

10 Перевірка роботи двигуна (напругою 1 кВ або потужністю менше 300 кВт) під навантаженням. При цьому випробуванні навантаження повинно бути не менше 50% від номінального.

11 Гідравлічні випробування повітроохолоджувачів (якщо передбачено конструкцією) проводяться протягом 5-10 хв. Під тиском 0,2-0,5 МПа (2-2,5 атм.).

12 Перевірка справності стрижнів обмоток роторів електродвигунів потужністю понад 100 кВт. Усі стрижні повинні бути справні.

13 Перевірка спрацювання захисту машини потужністю менше 100 кВт при живленні від мережі з заземленою нейтраллю (проводиться для машин з напругою 42 В, що працюють у небезпечних і особливо небезпечних умовах, і у машинах з напругою понад 380 В).

Програма випробувань ЕМ змінного струму після поточного ремонту проводяться за п.1 та п.13.

6.2 Програма випробувань МПС після капітального ремонту

Така програма проводиться в терміни, встановлені системою ППР (для двигунів, що працюють в особливо тяжких умовах, не рідше одного разу в два роки), і включає в себе наступні пункти:

1 Вимірювання опору ізоляції обмоток та бандажів (опір ізоляції не менше 0,5 МОм);

2 Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти. Тривалість випробування 1 хв. Величини випробувальних напруг наведені в таблиці 6.7.

Ці випробування не проводяться для машин потужністю до 200 МВт на напруги до 440 В.

Таблиця 6.7 – Випробувальна напруга для ізоляції МПС

Випробувальний елемент	Випробувальна напруга, кВ
Обмотки машин потужністю понад 3 кВт на номінальну напругу до 100 В	$1,6U_{\text{ном}}+0,8$
Обмотки машин на номінальну напругу понад 100 В, потужністю до 1000 кВт	$1,6U_{\text{ном}}+0,8$ (але не менше 1,2 кВ)
потужністю понад 1000 кВт	$1,6U_{\text{ном}}+0,8$
Обмотки збудників (потужністю понад 3 кВт) синхронних генераторів	$8U_{\text{ном}}$ (але не менше 1,2 кВ і не більше 2,8 кВ)
Обмотки збудників (потужністю понад 3 кВт) синхронних двигунів і компенсаторів	$8U_{\text{ном}}$ (але не менше 1,2 кВ)
Бандажи якоря МПС потужністю понад 3 кВт	1,0
Реостати і пускорегулюючі резистори допускають випробування спільно з ізоляцією кіл збудження	1,0

3 Вимірювання опору обмотки, реостатів і пускорегулювальних резисторів постійного струму у холодному стані. Опір обмотки збудження не повинен відрізнятися від заводського більше, ніж на 2%, обмотки якоря – не більше $\pm 10\%$, у колах реостатів і пускорегулювальних резисторів – не повинно бути обривів.

4 Зняття характеристики неробочого ходу та випробування виткової ізоляції. Характеристика неробочого ходу генератора повинна бути знята з напругою 1,3 номінальної напруги. Відхилення характеристики неробочого ходу при випробуванні не нормується. Тривалість випробування виткової ізоляції – не менше 5 хв. При цьому випробувальна середня напруга між сусідніми колекторними пластинами не повинна перевищувати 24 В.

5 Вимірювання повітряного проміжку під полюсами у машин потужністю більше 3 кВт. Величина проміжку в діаметрально-протилежному положенні не повинна відрізнятися більше, ніж на $\pm 10\%$ від середнього значення проміжку.

6 Перевірка роботи двигуна при неробочому ході з тривалістю випробувань більше однієї години. Струм неробочого ходу не нормується.

7 Визначення межі регулювання частоти обертання для двигуна з регульованою частотою обертання. Проводиться в режимі неробочого ходу і навантаження. Виміряні межі регулювання повинні відповідати технологічним даним робочого механізму.

Програма випробувань МПС після поточного ремонту проводяться тільки за пунктом 1.

7 Структура електроремонтного підприємства

Структура електроремонтного підприємства і склад його обладнання визначається рядом факторів, основними з яких є номенклатура та обсяг ремонтного обладнання. За інших рівних умов ремонтне підприємство складається з ряду виробничих дільниць (цехів), в яких виробляються окремі види робіт. Що стосується ЕМ, то підприємства по їх ремонту в більшості випадків не виходять за межі одного цеху, тому структуру електроремонтного підприємства розглянемо на прикладі цехової форми організації ремонту. Зразковий вид такого ремонтного цеху показаний на рисунку 7.1.

Ремонтний цех складається з наступних відділень:

1) Відділення передремонтних випробувань

Це відділення призначене для виявлення несправностей електрообладнання та працює за програмою, що включає такі пункти:

- вимірювання опору ізоляції обмоток;
- випробування електричної міцності обмоток;
- перевірка цілісності підшипників і підшипникового вузла;
- правильність прилягання щіток до колектору і контактних кілець;
- вимірювання вібрації при неробочому ході;
- перевірка стану кріпильних деталей;
- перевірка щільності посадки підшипникових щитів і відсутність ушкоджень в окремих частинах машини.

Випробування можуть проводитися або на випробувальних станціях, або на випробувальній ділянці в відділення розбирання.



Рисунок 7.1

2) Відділення розбирання

У цьому відділенні виконуються такі операції:

- виконуються усі передремонтні випробування;
- очищують ЕМ перед розбиранням;
- розбирають ЕМ на окремі вузли;
- виконують дефектацію вузлів і деталей, визначають їх стан, ступінь зносу, обсяг необхідного ремонту і оформлюють відповідну документацію на ремонт;
- передають несправні вузли і деталі на відповідні ремонтні відділення, а справні деталі – в комплектувальне відділення.

Відділення розбирання повинне мати підйомно-транспортні пристрої для транспортування машин, миюче обладнання, знімачі, пристосування для введення ротора в статор, зняття підшипників і щитів, верстати для обрізки лобових частин обмоток статора і ротору, верстати для вилучення стрижнів короткозамкнених обмоток, а також спеціальне оснащення і пристосування для розбирання машин.

3) Обмотувальне та просочувально-сушильне відділення

Це відділення виконує такі операції:

- ремонтує старі і виготовляє нові обмотки;
- відновлює пошкоджений обмотувальний провід;
- просочує, укладає в машину і сушить обмотки;
- виконує збирання робочої схеми з'єднання обмоток і проводить поопераційний контроль ізоляції обмоток.

В даному відділенні встановлюються верстати для очищення і ізолювання проводів, для намотування котушок, для різання ізоляції, пристосування для формовки ізоляції котушок, виконаних з прямокутного проводу. Необхідне обладнання для зварювання і пайки проводів обмоток, спеціальне обладнання для бандажировки обмоток статора, якоря, ротору. У відділенні повинен знаходитися випробувальний стенд для вимірювання опору ізоляції обмоток і вимірювання електричної міцності.

Відділення просочення і сушіння обмоток повинно бути забезпечено витяжною вентиляцією. Підйомно-транспортні засоби повинні бути розраховані на вузли, які можуть мати значну масу.

4) Слюсарно-механічне відділення

Дане відділення виконує наступні операції:

- ремонтує і виготовляє нові деталі ЕМ, як конструктивні (вали, підшипники, кришки підшипників), так і провідні (колектора, контактні кільця, щіткові вузли, короткозамкнені обмотки роторів, щітковий механізм і т.п.);
- виконують перешихтовку листів осердя статора і ротору;

- виконують слюсарно-механічну обробку ремонтованих деталей.

Дане відділення обов'язково повинне бути забезпечене відповідним парком верстатів для механічної обробки деталей, повинно бути забезпечене підйомно-транспортним обладнанням, пресами, зварювальним обладнанням і т.п.

5) Комплектувальне відділення

Включає в себе такі операції:

- отримує справні вузли і деталі, які направляються із відділення розбирання;
- отримують відремонтовані вузли і деталі з обмотувального та слюсарно-механічного відділень;
- виконують комплектацію ЕМ відсутніми деталями та вузлами.

Перевірені і повністю скомплектовані ЕМ передають у відділення збирання (окремі великі вузли і деталі можуть передаватися на відділення збирання, міняючи комплектувальне відділення).

6) Відділення збирання

В даному відділенні виконують по вузлове і загальне збирання ЕМ. Дане відділення забезпечується практично тим же допоміжним устаткуванням, що і відділення розбирання. Тому їх на ряді електроремонтних підприємств об'єднують. На відміну від відділення розбирання обов'язково повинно проводитися балансування ротора, що потребує балансувальних станків.

7) Випробувальна станція

На випробувальній станції проводять випробування нових вузлів і деталей, призначених на заміну вийшовших з ладу, а також проводять післяремонтні випробування машин. Такі станції мають високовольтне обладнання, електричні прилади і захисні засоби.

8) Відділення оздоблювальних робіт

В цьому відділенні проводять оздоблювальні роботи на ділянці окраски та сушіння. Дане відділення повинно бути обладнане необхідним обладнан-

ням. Тут здійснюють фарбування та консервацію. Дане відділення обов'язково повинно мати витяжну вентиляцію.

Список використаної літератури

- 1 Бражников Н.В., Рапопорт И.С. Эксплуатация и ремонт электрооборудования металлургических заводов. – М.: Металлургия, 1979. – 248с.
- 2 Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. – Л.: Энергия, 1975. – 296с.
- 3 Маршак У.Л., Уманцев Р.В. Ремонт электрических машин общепромышленного применения. – М.: Энергия, 1972. – 280с.
- 4 Рубо Л.Г. Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 392с.
- 5 Мандыч Н.К. Ремонт электродвигателей. – К.: Техника, 1989. – 152с.
- 6 Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408с.
- 7 Кофман К.Д. Монтаж силового электрооборудования. – М.: Госэнергоиздат, 1950. -172с.
- 8 Морозов Г.М. Опыт сушки электродвигателей методом потер в стали. – М.: Рабочий энергетик, 1952, №11. – с.15-17.
- 9 Ривлин Л.Б. Монтаж крупных электрических машин. – М.-А.: Госэнергоиздат, 1956. – 412с.
- 10 Деро А.Р. Неполадки в работе асинхронного двигателя. – Л.: Энергия, 1976. – 94с.
- 11 Антонов М.В., Герасимова Л.С. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512с.