

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

**з навчальної дисципліни  
«Технологія виробництва електричних машин і апаратів»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти**

**Електромеханіка**

**за темою - Складання електричних машин**

**Харків 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2022 № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кременчуцького  
льотного коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 22.08.2022 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 15.08.2022 № 1.

**Розробник:** к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

**План лекції:**

1. Основні визначення.
2. Організаційні форми складання.
3. Балансування роторів (якорів).
4. Монтаж підшипників.
5. Загальне складання електричних машин змінного струму.
6. Загальне складання електричних машин постійного струму.
7. Забарвлення і сушка деталей і складених електричних машин.

**Рекомендована література:****Основна література:**

1. Юхимчук В.Д. Технологія виробництва електричних машин: Підручник/ В.Д. Юхимчук – Х.: Тім Пабліш Груп, 2014.
2. Чучман Ю. І. Технологія машинобудування для електромеханіків.: Навч. посібник для студ. електромех. спец. ВНЗ України. - Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2001.- 356 с.
3. Чучман Ю. І. Виготовлення феромагнітних осердь електротехнічних пристроїв.: Навч. посібник для студ. електромех. спец. ВНЗ України. - Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2003. - 246 с.

**Допоміжна література:**

1. Електричні машини: підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
2. Белікова Л.Я. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.
3. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.

**Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. <https://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/tehnologiya-i-oborudovanie-proizvodstva-elektricheskikh-mashin.html>
2. <http://web.kpi.kharkov.ua/elmas/wp-content/uploads/sites/108/2017/04/Tehnologiya-proizvodstva-elektricheskikh-mashin-v-2-h-knigah.YUhimchuk-V.D.-2006.pdf>

## Текст лекції

### 1. Основні визначення.

Збірка є одним з важливих етапів у виробництві будь-яких механізмів, від якості виконання її багато в чому залежить надійність і довговічність роботи вироби. Трудомісткість складання електричної машини середніх габаритів становить 4-8% від загальної трудомісткості її виготовлення.

Будь-яка машина складається з деталей і складальних одиниць.

Деталь - виріб, виготовлений з однорідного по найменуванню і марці матеріалу без застосування складальних операцій. Наприклад, вал, станина електродвигуна.

Складальна одиниця - виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою на підприємстві-виробнику складальними операціями (згинчуванням, клепкою, зварюванням, пайкою, опрес-совкой, склеюванням, укладанням і т. П.).

Виріб - будь-який предмет або набір предметів виробництва, які потребують подальшого виготовлення на підприємстві.

Технологічний процес складання, як і механічної обробки, складається з операцій і переходів.

Складальною операцією називається частина технологічного процесу складання виробу, яка виконується над однією складальною одиницею одним або декількома робітниками одночасно на одному робочому місці до переходу до складання наступного складальної одиниці.

Переходом називається частина операції, яка виконується без зміни інструменту одним робочим або бригадою.

### 2. Організаційні форми складання.

Залежно від положення вироби при складанні збірка може бути стаціонарною або рухомий, а в залежності від розташування складальних місць відносно один одного - потокової або непотокове.

При стаціонарній збірці робочий або група робочих збирають вироби на нерухомих робочих місцях (всі необхідні деталі і складальні одиниці подаються до робочого місця). Стаціонарна складання електричних машин в залежності від габаритів вироби може проводитися на: а) спеціально відведеному майданчику цеху, б) верстатах, в) обладнаних стендах.

Стаціонарна складання застосовується в одиничному і серійному виробництвах і проводиться концентрованим або диференційованим методом.

При концентрованому методі складальний процес не розчленовується на операції і загальне складання електричної машини від початку до кінця проводиться одним робочим. Такий метод складання характерний для одиничного виробництва, він вимагає високої кваліфікації робітників, великих витрат часу на складання і значних складальних площ.

Рухома форма складання застосовується у великосерійному і масовому виробництві і проводиться тільки диференційованим методом.

При диференційованому методі весь процес розбивається на окремі операції і кожна з них виконує окремий робочий або група робітників. Виріб в процесі складання переміщається від одного робочого місця до іншого. Робочі місця оснащені необхідними складальними інструментами і пристосуваннями, на них виконується одна і та ж операція. Такий метод є більш прогресивним, тому що дозволяє спеціалізувати складальників на певних операціях, в результаті чого підвищується продуктивність праці.

Потокової називається така збірка, при якій складальний процес розчленований на окремі операції, приблизно рівні або кратні по часу і виконуються безперервно, а зібрані готові вироби з потокової лінії сходять через певні проміжки часу, звані тактом.

У потокової лінії робочі місця розташовані в порядку виконання складальних операцій.

Метод потокової збірки може бути здійснений як при нерухомому, так і при рухомому збираному об'єкті.

Поточна збірка при нерухомому об'єкті застосовується при великому такті збірки або випуску важких машин, переміщення яких важко. В цьому випадку вироби збираються на послідовно розташованих нерухомих стендах, а робочі після виконання кожним своєї операції переходять від одного стенду до іншого. Після виконання останньої операції зборки з кожного робочого місця знімається готовий виріб.

Періодична подача вироби з одного робочого місця на інше може здійснюватися одним з таких способів:

- а) передачею вручну по рольганги або на візках;
- б) передачею механічними транспортними пристроями (приводним рольгангом, механізованої візком, транспортерної стрічкою і ін.);
- в) кроковим конвеєром;
- г) періодично переміщається пластинчастим конвеєром. Збірка вироби на таких конвеєрах виробляється під час їх зупинок, рівних тривалості виконання операції. Сума часу руху конвеєра для переміщення вироби від одного робочого місця до іншого і зупинки для виконання операції дорівнює такту.

### **3. Балансировка роторов (якорей).**

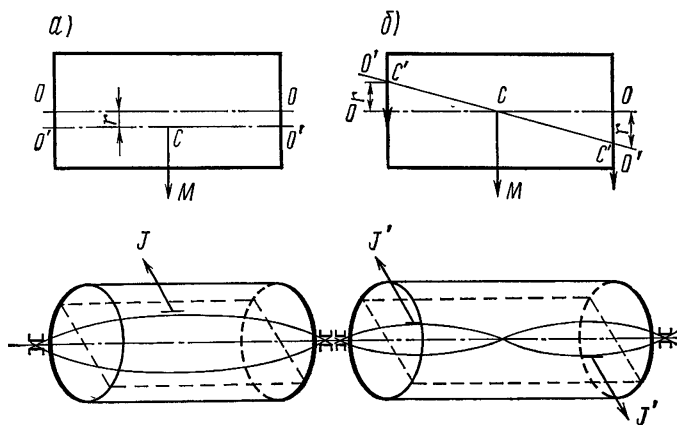
В изготовленном роторе электрической машины вследствие неравномерного распределения масс центральная ось инерции, на которой расположен центр тяжести, редко совпадает с осью вращения.

Смещение оси инерции вызывается главным образом технологическими причинами. Например, детали ротора, получаемые литьем, могут иметь неодинаковую толщину стенок и ребер, хотя чертежом предусмотрено их симметричное расположение. Роторы, у которых главная центральная ось инерции не совпадает с осью вращения, называются неуравновешенными.

Эта неуравновешенность, как правило, складывается из суммы двух неуравновешенностей: статической и динамической.

При статической неуравновешенности ось инерции расположена параллельно оси вращения и на ней лежит центр тяжести детали.

При динамической неуравновешенности центр тяжести детали расположен на оси вращения, однако каждая из половин ее является неуравновешенной и их центры тяжести лежат в одной плоскости по обе стороны от оси вращения на равных расстояниях. Таким образом, у чисто динамически неуравновешенных деталей ось инерции проходит через центры тяжести их сторон, пересекая ось вращения в центре тяжести детали.



Мал. Види неврівноваженості:

$O - O$  - вісь обертання ротора;  $O' - O'$  - вісь інерції ротора;  $C$  - центр ваги ротора;  $C'$  - центр ваги боку ротора;  $M$  - маса ротора;  $m$  - маса однієї зі сторін ротора;  $r$  - величина зміщення центру ваги;  $j$  - відцентрова сила від статичної неврівноваженості;  $j'$  - пара сил від динамічної неврівноваженості

При обертанні неврівноваженого ротора статична неврівноваженість викликає відцентрову силу, а динамічна - відцентровий момент від пари сил.

Неврівноважені відцентрова сила і відцентровий момент викликають вібрацію електричної машини, яка поступово, руйнуючи підшипники, скорочує їх термін служби.

Для усунення шкідливого впливу неврівноваженості ротори піддають балансуванню.

Балансування - це така технологічна операція, в процесі якої знаходиться величина і розташування неврівноваженої маси, а потім проводиться її урівноваження шляхом додавання вантажів на легкі боку або видалення частини металу з важких сторін.

Повністю врівноваженим називається ротор з таким розподілом мас, при якому результуюча всіх відцентрових сил і сума моментів цих сил відносно центра ваги ротора дорівнює нулю.

При цьому умови одна з головних центральних осей інерції збігається з віссю обертання. Кількісно величину неврівноваженості можна виразити через міру неврівноваженості, яка визначається в площині виправлення.

Площинами виправлення називаються площині, перпендикулярні осі обертання, в яких шляхом додавання або видалення мас здійснюється компенсація невірноваженості ротора.

Площині виправлення зазвичай проходять через натискні шайби, конструкція яких передбачає спеціальні місця для установки або приварювання вантажів або висвердлювання надлишків металу.

Мірою невірноваженості ротора в площині виправлення служить твір невірноваженої маси на відстань (радіус установки) її центру ваги від осі обертання незалежно від кутового положення маси.

За одиницю невірноваженості прийнятий 1 г·мм. У кресленні ротора вказують площині виправлення і методи усунення невірноваженості, а також допустиму залишкову невірноваженість, так як в процесі балансування домогтися повної врівноваженості ротора практично неможливо.

Для роторів встановлені три класи точності урівноваження: нульовий, перший і другий, що відрізняються між собою величиною допустимої залишкової невірноваженості. Найменшу залишкову невірноваженість допускає нульовий клас.

У технічній документації на машини повинен бути зазначений клас точності врівноваженості. Відсутність вказівок в кресленні ротора по точності урівноваження означає, що прийнятий другий клас.

Статичне балансування роторів виробляється при необертальному роторі на призмах або дисках або на спеціальних вагах.

Статичної балансуванню можна усунути тільки статичну невірноваженість. При балансуванні на призмах і дисках ротор встановлюється на них шийками під підшипник. Перед балансуванню шийки вала і робочі поверхні установки для балансування необхідно очистити від пилу і бруду, протерши їх ганчіркою, змоченою в бензині.

Для визначення невірноваженості ротор виводять з рівноваги легким поштовхом від руки. Невірноважений ротор буде прагнути повернутися в стан, при якому його важка сторона буде внизу.

Динамічне балансування проводиться на спеціальних верстатах. У процесі її виконання обидва кінці ротора врівноважуються по черзі в зазначених на кресленні площинах виправлення. Для знаходження заходи небалансу і місця розташування центру тяжіння обох кінців балансується ротор встановлюють на підпружинену раму або опори верстата і приводять його в обертання.

Незбалансована маса ротора змушує раму або опору верстата коливатися. Ці коливання на балансувальних верстатах вимірюють різними способами і за найбільшою величиною відхилення визначають масу і точку кріплення балансувальних вантажів на легкій стороні або місце висвердлювання необхідної кількості металу з важкого боку.

#### **4. Монтаж підшипників.**

В електричних машинах залежно від величини і характеру навантаження на ротор (якір) в підшипникових вузлах застосовуються радіальні підшипники кулькові або роликові або радіально-наполегливі з конічними роликами.

Стандартом передбачені наступні класи точності підшипників і їх умовні позначення:

нормальний - Н

підвищений - П

високий - В

особливо високий - А

надвисокий - С

проміжний - ВП, АВ, СА

У проміжних класів буква зліва вказує клас точності внутрішнього кільця, а праворуч - клас точності зовнішнього кільця.

Підготовка підшипників і сполучених з ними деталей до монтажу. При попаданні в підшипник сторонні тверді частинки (бруд, пісок, слюда і ін.) Змішуючись з розташованою в ній мастилом, утворюють абразивну суміш, яка при роботі руйнує кульки або ролики і робочі доріжки кілець.

Потрапляє всередину підшипника волога може викликати корозію, в результаті чого на поверхнях, що труться утворюються виразки, які погіршують легкість обертання підшипників і викликають їх передчасний знос.

Тому одним з основних умов, від яких залежить довговічність, є зміст підшипників в чистоті в період зберігання, в процесі складання і в експлуатації.

Підшипники з заводів-виготовлювачів поставляються споживачам законсервованими змазкою і в захисній упаковці.

В упакованому вигляді вони повинні подаватися зі складу заводу на складальний ділянку. Зняття упаковки і розконсервацію підшипників слід проводити безпосередньо перед установкою їх в вузли машини.

Монтаж підшипників. В електричних машинах посадка внутрішнього кільця на вал, а іноді і зовнішнього кільця в підшипниковий щит проводиться з натягом. Тому установка їх у відповідний вузол машини здійснюється за допомогою преса, а при великих натягах при посадці на вал необхідний попередній нагрів підшипників.

Зазвичай нагрівання підшипників перед монтажем поєднують з нагріванням їх в масляних ваннах під час розконсервації.

Нагрітий підшипник надягають на вал і осаджують до упору на шийці вала легкими ударами циліндричної оправкой по трубчастій оправці, яка має обідок з кольорового металу з боку, що стикається з підшипником.

Якщо в машині передбачені внутрішні кришки, вони повинні бути надіті на вал перед монтажем підшипників.



Роликопідшипники перед монтажем розбирають і їх зовнішні кільця запресовують в підшипниковий щит окремо за допомогою преса.

### **5. Загальне складання електричних машин змінного струму.**

Можна виділити наступні основні операції складання, які є загальними для більшості конструкцій електричних машин змінного струму. До них відносяться: монтаж підшипників, введення ротора в статор, запресовка підшипникових щитів в станину, вимір повітряного зазору, випробування, обробка після випробування, забарвлення і сушка зібраних машин.

Введення ротора в статор. При складанні статор повинен бути встановлений горизонтально на лапах на верстаті або на рольганге.

Введення ротора в статор невеликих електричних машин, коли ротор можна легко втримати однією рукою за виступаючий кінець вала, проводиться без застосування пристроїв.

Більш важкі ротори вводяться в статор за допомогою підтримуючих пристроїв, які надають роторам стійке горизонтальне положення.

Вимірювання повітряного зазору. Величина зазору між ротором і статором і особливо рівномірність його по всьому діаметру впливають на робочі характеристики електричної машини. Тому він не може бути довільним, а повинен бути витриманий в певних межах. Різниця одностороннього зазору, виміряного в двох діаметрально протилежних точках повинна бути не більше 30%, а в кранових двигунах вона допускається і до 40%.

Величину зазору перевіряють щупами двічі. Перший раз - після введення ротора в статор, коли ротор лежить на расточке заліза статора, при цьому вимірюють загальний зазор. Другий раз заміряють односторонній зазор в трьох точках після запресовування підшипникових щитів.

Для проходу щупа в підшипниковому щиті передбачені три отвори, які розташовані навпроти розточення статора під кутом  $120^\circ$  один до одного. Після замірів в отвори вкручують болти-заглушки.

Запресовування підшипникових щитів в станину. Дана операція є найбільш складною і відповідальною операцією складання електричної машини. Складність її полягає в тому, що запресовуються одночасно два підшипникових щита, які в машинах з кульковими підшипниками сполучаються з двох поверхонь.

Отвір щита сполучається з зовнішнім кільцем підшипника, а замкова поверхню - зі станиною.

При запресовуванні щитів в станину необхідно забезпечити збіг кріпильних отворів з відповідними отворами внутрішньої кришки і станини. Для цієї мети в один з отворів внутрішньої кришки ввертається технологічна шпилька, яка вводиться в отвір щита, що встановлюється для запресовування навпаки расточек станини, а в два діаметрально протилежних отвори щита вставляються болти, які на дві - три нитки вручну ввертати в станину.

Зорієнтовані таким чином щити запресовуються в станину за допомогою двосторонніх пневматичних або гідравлічних пресів, а кріплять їх до станини болти загортають болтовертами. В процесі запресовування неприпустимі перекоси щитів.

Після запресовування підшипникових щитів в станину заповнюються змазкою камери підшипників на дві третини обсягу і лабіринтові канавки зовнішніх кришок, потім підшипникові щити з кожного боку машини закриваються зовнішніми кришками. Скріпивши кришки болтами, вивертають технологічну шпильку і замість неї вкручують передбачений кресленням кріпильний болт.

Наступними складальними операціями перед випробуванням машини є насадка вентилятора на вал, установка і закріплення кожуха.

Оздоблення машин після випробування. Під операцією обробки розуміють зазвичай складальні переходи по установці і закріпленню кожуха, затискання колодкою вивідних кінців в клеммові коробки і закриття її кришкою, установку шпонок на кінець вала і його консервацію, кріплення до станини машини заводського щитка.

## **6. Загальне складання електричних машин постійного струму.**

Технологічний процес складання електричних машин постійного струму відрізняється від процесу складання машин змінного струму. Машини з нероз'ємною станиною збираються в наступній послідовності. Спочатку готують до складання якір, індуктор і підшипникові щити.

Власне збірка електричної машини починається з запресовки в станину переднього щита (з боку колектора). Потім в індуктор вводять якір і запресовують задній щит, встановлюють комплект щіток і електродвигун передають на випробування. Завершальними операціями є обробка і фарбування електричної машини.

Підготовка до загальної збірці складальних одиниць. Якір. За допомогою горизонтального гідравлічного преса в холодному стані на вал напресовується вентилятор. На обидва кінці вала надягають внутрішні кришки, з боку приводу напресовується шарикопідшипник, а з протилежного боку, розібравши роликпідшипник, напресовують тільки внутрішнє кільце.

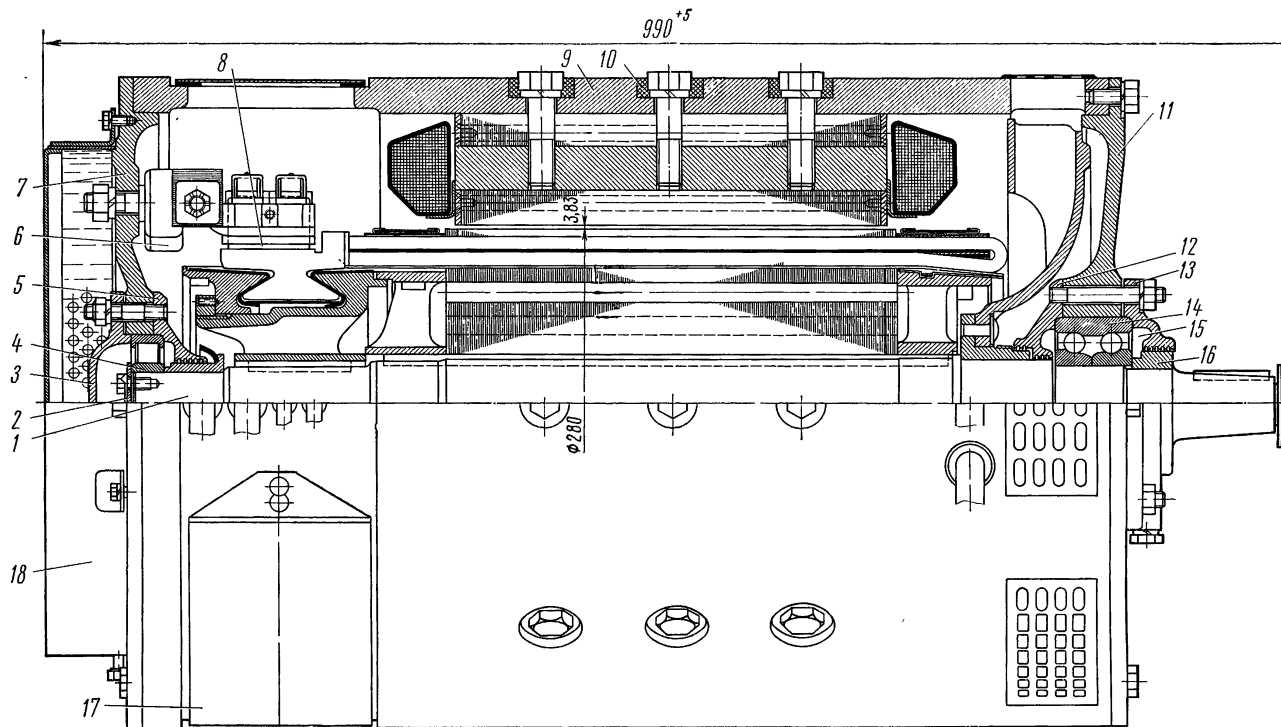
Шарикопідшипник замикається на валу втулкою, яка насаджується в гарячому стані, попередньо нагріта в печі до температури 130-150 °.

На зовнішнє кільце підшипника напресовується підшипниковий щит, в підшипник закладають консистентне мастило і підшипник закривають зовнішньої кришкою. У такому вигляді якір підготовлений до введення в індуктор.

Індуктор. Збірка індуктора полягає в установці в станину головних і додаткових полюсів з котушками, з'єднання їх за схемою, ізолювання міжкотушкових з'єднань і перевірки правильності з'єднання.

Перед установкою в станину сердечники головних і додаткових полюсів за допомогою пневматичного преса запресовують в їх котушки.

Для запобігання від стирання ізоляції котушки про сердечник між сердечником і котушкою перед запрессовкою прокладають металеві фланці. Установка в індуктор сердечників полюсів з котушками невеликої ваги не представляє особливих труднощів.



Мал. Загальний вигляд тягового електродвигуна:

1 - якор; 2 - шайба; 3, 5, 12, 13 - кришки підшипників; 4, 14 - підшипники; 6 - щіткотримач; 7, 11 - підшипникові щити; 8 - щітки; 9 - індуктор; 10 - замазка; 15 - мастило жирова; 16 - втулка; 17 - кришка; 18 - кожух.

Після установки полюсів відстань між ними перевіряють контрольними штихмас.

Котушки головних і додаткових полюсів між собою і з вивідними кабелями з'єднують згідно зі схемою, згортаючи їх наконечники болтами з шайбою і гайкою.

Міжкотушкових з'єднання і з'єднання кінців котушок з висновками ізолюються декількома шарами Склолакотканини і скляної стрічки.

Ізоляція вивідних кабелів в місцях входу і виходу з станини машини охороняється гумовими втулками, які надягають на кабель.

У зібраного індуктора, підключивши обмотку збудження до джерела постійного струму, перевіряють полярність полюсів компасом.

Підшипниковий щит. До збірки підшипникового щита із станиною на щит боку колектора встановлюється і з'єднується за схемою комплект щіткотримачів, а якщо на якорі передбачений роликпідшипник, то в щит запресовується зовнішнє кільце його.

Щіткотримачі на підшипниковому щиті закріплюють в певному місці і при цьому витримують жорсткий допуск на відстань їх відносно один одного і осі щита.

Якщо щеткодержатели закріплені на окремих пальцях, то їх положення визначається отворами під пальці, які свердлять в щиті по кондуктору.

Збірка машини. Після того як зібрані складальні одиниці, приступають до складання машини.

На відміну від складання електричних машин змінного струму підшипникові щити в індуктор машин постійного струму запресовують черзі. Спочатку в індуктор з боку колектора запресовують передній підшипниковий щит із зібраними на ньому деталями.

Для виконання цієї операції станину встановлюють у вертикальне положення, щит вставляють в індуктор, в отвір станини ввертають вручну на кілька ниток болти.

Затягуючи по черзі болтовертом болти, розташовані діаметрально протилежно, щит запресовують в станину.

Введення якоря в індуктор і запресовку заднього щита в станину можна робити як при вертикальному, так і горизонтальному розташуванні індуктора.

При складанні машини в вертикальному положенні якір в індуктор вводиться за допомогою крана, яким вал захоплюється за підйомне кільце, наворачуються на різьбовий кінець валу якоря.

Підшипниковий щит в станину запресовується також за рахунок затягування болтів, що кріплять щит до станини. При складанні в горизонтальному положенні щит в станину НЕ запресовується, а вільно вставляється, так як перед цим горловину станини розігрівають спеціальним індукційним нагрівачем.

Таким способом збираються на заводі «Електроважмаш» тягові тепловозні електричні машини. Для введення якоря в індуктор застосовується пристосування, конструкція якого аналогічна пристосуванню для введення ротора в статор.

За даними заводу, збірка машин в горизонтальному положенні з застосуванням розігріву горловини станини більш продуктивна, ніж збірка в вертикальному положенні.

## **7. Оздоблення електричної машини.**

Оздоблення машини проводиться до і після випробування машини. Безпосередньо після складання встановлюють комплект щіток; в роликотпідшипник з боку колектора закладають мастило і щит закривають кришкою. Таким чином, електричну машину готують до випробування.

Після випробування колекторні люки станини закривають кришками; на кінець вала наворачують гайку і встановлюють шпонку; кінець вала змазують антикорозійним мастилом, обгортають папером і обв'язують мотузкою; на кінці вивідних кабелів закріплюють ярлички згідно зі схемою з'єднань; свердлять отвори для кріплення заводського щитка і щиток заклепками прикріплюють до станини. Після операції забарвлення електричну машину відправляють на склад.