

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Автоматизовані системи електричного транспорту»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту
з дисципліни

***«ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕРС»***

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Системи електричної тяги» 28 листопада 2011 р. протокол № 3.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності «Електричний транспорт».

Укладачі:
доценти В.С. Нікулін,
Н.П. Карпенко

Рецензент
доц. А.Ф. Агулов

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсового проекту
з дисципліни

*«ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕРС»*

Відповідальний за випуск Нікулін В.С.
Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 22.03.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра «Системи електричної тяги»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

*до виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія
виробництва електрообладнання ЕРС»
для студентів спеціальності «Електричний транспорт».*

ХАРКІВ 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Системи електричної тяги» 28 листопада 2011 р. протокол № 3.

Укладачі:
доценти В.С. Нікулін,
Н.П. Карпенко

Рецензент
доц. А.Ф. Агулов

ВСТУП

Курсовий проект за основними розділами дисципліни "Технологія виробництва електрообладнання ЕРС" виконується студентами спеціальності "Електричний транспорт" з метою кращого засвоювання її матеріалу.

При виконанні проекту студент повинен дотримуватися таких положень:

1) проект складається з двох частин – розрахунково-пояснювальної записки та креслень. Креслення доповнюють записку та мають бути основою до розрахунків або розроблення технології виробництва того чи іншого пристрою або вузла;

2) пояснювальна записка має бути розміром 210x297 мм. Титульна сторінка виконується згідно з формою, виданою кафедрою;

3) розрахунки супроводжуються поясненнями. Формули до цих розрахунків спершу наводяться в загальному вигляді, після чого в них підставляються числові значення та проставляються результати.

При виборі потрібних розрахункових величин або параметрів, при використанні таблиць, формул, довідкових матеріалів слід обов'язково посилатися на джерела. Використану при цьому літературу (автор, назва книги, видавництво, рік її видання) потрібно навести в кінці пояснювальної записки.

Матеріал у записці потрібно викладати з додержанням прийнятої в технічній літературі термінології;

4) точність розрахунків достатня до 1 %;

5) графіки, схеми, креслення виконуються на білому або міліметровому папері та вклеюються або вшиваються між аркушами пояснювальної записки;

6) сторінки пояснювальної записки, рисунки, таблиці та графіки повинні бути пронумеровані. Таблиці – мати назви, рисунки та графіки – підписані підписами;

7) на титульному аркуші записки обов'язково проставляється дата виконання проекту;

8) після одержання прорецензованого проекту його виконавець, незалежно від того, допущений він викладачем-керівником проектування до захисту чи ні, повинен виправити всі помилки та зробити потрібні доповнення.

Знищувати або закреслювати помітки рецензента забороняється.

Виконавши будь-яке виправлення в розв'язаннях та одержавши новий числовий результат у розрахунках, необхідно, якщо це потрібно, внести відповідні поправки в подальші розрахунки.

Виконана робота подається до захисту у вигляді пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Розділи пояснювальної записки

1 Вступ.

2 Опис особливостей конструкції та матеріали, які застосовуються при виробництві заданого вузла.

3 Обладнання і пристосування, які необхідні при виробництві заданого вузла.

4 Технологія виробництва заданого вузла.

5 Розроблення карти технологічного процесу.

6 Висновок.

7 Список використаних джерел.

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Студент, який виконує проект, повинен докладно знати конструкцію вузла та системи, технологія обробки, виготовлення або складання яких має розглядатись у проекті. Ця конструкція повинна бути якнайповніше описана студентом з включенням у цей опис необхідних розрахунків, які визначають розміри, форми її елементів чи технологічних методів її обробки.

Основою розроблення технології вузла чи системи є креслення або, якщо це необхідно, ескізи чи рисунки їх в аксонометрії, які розташовуються в тексті пояснювальної записки з метою обґрунтування прийняття чи виконання тих або інших методів та прийомів обробки, складання, перевірок, випробувань. Обсяг та вигляд цих креслень чи ескізів повинен бути достатнім для того, щоб була можливість короткої технічної характеристики, указання місць обробки, з'єднання розміщення клейм, міток та ін.

Технологічне оснащення (стенд пристосування, спеціальний інструмент та ін.) та спеціальне обладнання в проекті достатньо надати в ескізній формі, а складне – у вигляді принципової схеми. Зі стандартного обладнання можна навести тільки відомість про його тип з короткою характеристикою.

У проекті передбачене розроблення карти технологічного процесу обробки, складання, перевірок та випробування того чи іншого вузла або пристрою. Ця карта повинна бути виконана на окремому, достатньому за розмірами аркуші паперу.

До форми карти входять:

- а) перелік основних технологічних операцій;
- б) ескізи операцій;
- в) технологічні умови, інструкції, правила та ін.;
- г) основне технологічне оснащення (пристосування, інструмент та ін.);
- д) час на кожну операцію (у годинах чи хвилинах);
- е) професія (фах) виконавців роботи;
- ж) тарифний розряд роботи.

У заключній частині проекту його виконавець повинен висвітлити питання охорони праці й техніки безпеки, особливо при підйомно-транспортних операціях, при випробуваннях, пов'язаних з високою напругою.

Велика різноманітність конструкцій та принципів дій електричних машин, пристроїв та апаратів, які використовуються на електричному рухомому складі, потребує великої різноманітності методів, технологій та матеріалів для їх виробництва. Тому забезпечити виконання курсового проекту з дисципліни "Технологія виробництва електрообладнання ЕРС" не можна одними, хоча й дуже розширеними методичними вказівками. Виходячи з цього, в даних вказівках розглядаються не загальні методики розроблення проекту, а часткові, забезпечують проектування якогось одного вузла чи системи. На логіці такого проектування студент має самостійно побудувати методику розроблення свого вузла або системи.

Для зручності роботи студента з методиками виконання курсового проекту останні подаються як комплекс окремих вказівок, які відрізняються одна від одної та не пов'язані між собою.

1 ТЯГОВІ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Усі електричні, машини, які встановлюються на електрорухомому складі, називаються тяговими електромашинами.

За родом споживаного струму вони розподіляються на машини постійного або пульсуючого струму, змінного однофазного (промислової та зниженої частоти) та змінного трифазного струму.

За призначенням машини класифікуються на тягові електродвигуни, тягові генератори, допоміжні електромашини — двигуни та генератори, що обслуговують потреби самого електрорухомого складу.

В окрему групу виділяються електромашинні перетворювачі.

За системами збудження машини виконуються з послідовним (регульованим та нерегульованим), паралельним, змішаним та незалежним збудженням.

За системами охолодження електричні машини розподіляються на закриті без вентиляції та машини захищеного виконання з незалежною вентиляцією або самовентиляцією.

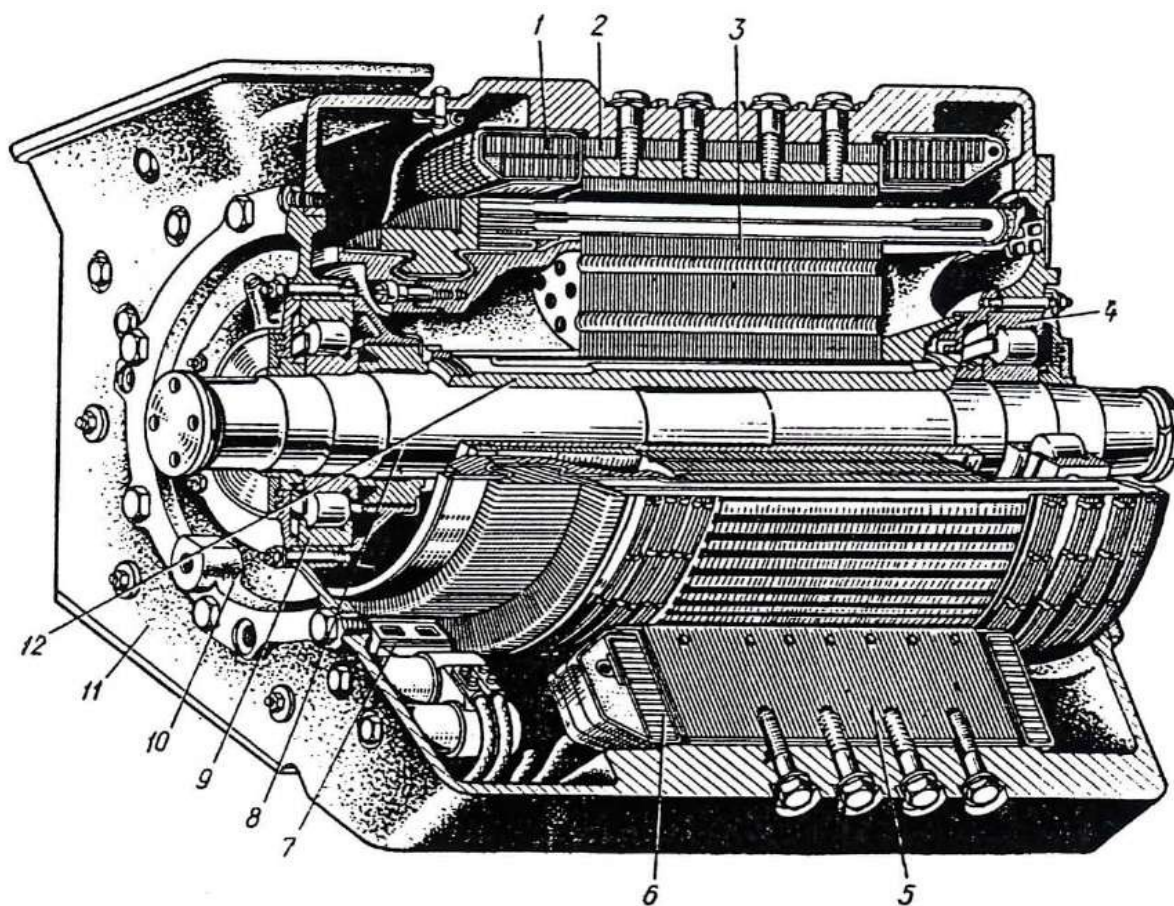
За способом постачання електроенергією машини розподіляються на машини, які підключаються безпосередньо до контактної мережі, машини, які одержують електроенергію з контактної мережі через різне перетворювальне обладнання локомотива, та машини, що споживають енергію від джерел, установлених на ЕРС.

Тягові електромашини постійного струму проектують, будують та випробовують за вимогами ДЕСТ 2582-66.

1.1 Тягові електродвигуни

Тягові електродвигуни перетворюють електричну енергію в механічну роботу обертання колісних пар ЕРС. На сучасних локомотивах та електропоїздах українських залізниць виключно розповсюдження мають двигуни постійного та пульсуючого струму. У деяких закордонних державах використовують ще й

однофазні, колекторні двигуни зниженої частоти. Усі ці різновиди двигунів мають практично однакову конструкційну схему, і тому їх виробництво підпорядковується однаковим технологіям. Тому технології обробки, виконання, складання та випробування окремих вузлів конструкційно різних машин цієї групи подібні або однакові і можуть бути розглянуті на прикладі однієї якоїсь найбільш розповсюдженої серії машин, наприклад тягового електродвигуна постійного струму НБ-406Б (рисунок 1, таблиця 1).



1 – котушка головного полюса; 2 – осердя головного полюса;
 3 – осердя якоря; 4,9 – роликпідшипники; 5 – додатковий полюс;
 6 – котушка додаткового полюса; 7 – щіткотримач; 8 – вал якоря;
 10 – підшипниковий щит; 11 – остов; 12 – втулка якоря

Рисунок 1 – Чотириполісний тяговий двигун постійного струму НБ-406Б

1.1.1 Технологічний процес складання тягового електродвигуна

Комплектуючі елементи

На складальний майданчик електромашинного цеху подаються окремі вузли двигуна, раніше виконані та перевірені відділами технічного контролю механічного, якірного, обмоткового цехів та відділень роликів підшипників і щіткових пристроїв. Для розміщення цих вузлів на складальному майданчику розташовані стелажі та якірні підставки. Остови (корпуси) двигунів накопичуються в спеціальній зоні складального цеху, де вони передчасно готуються до подачі на складальний майданчик, продуваються стисненим повітрям та протираються чистими серветками.

Таблиця 1 – Перелік комплектуючих до складання тягового електродвигуна (НБ-406Б)

Вузол чи деталь	Кількість
Остов	1
Якір	1
Великий підшипниковий щит з передньою та задньою кришками і лабіринтом	1
Малий підшипниковий щит з передньою та задньою кришками і лабіринтом	1
Осердя головного полюса	4
Обмотка (катушка) головного полюса	4
Осердя додаткового полюса	4
Обмотка (катушка) додаткового полюса	4
Рамки або пружинні каркаси чи пружинні рамки кріплення катушок полюсів	4 комплекти головних та 4 комплекти додаткових
Комплект щіткотримачів та їх кронштейнів зі щітками	4
Комплект гарнітури двигуна: кришки люків з прокладками, захисні сітки з їх огороженням, кабельні перемички або шини, вихідні кабелі, кліщі	Комплект
Метизи, шайби різні плоскі та	Комплект

Оснащення остова полюсами

Остов із зони накопичування подається на складальний майданчик мостовим краном і встановлюється вертикально на спеціальну підставку, яка фіксує положення остова.

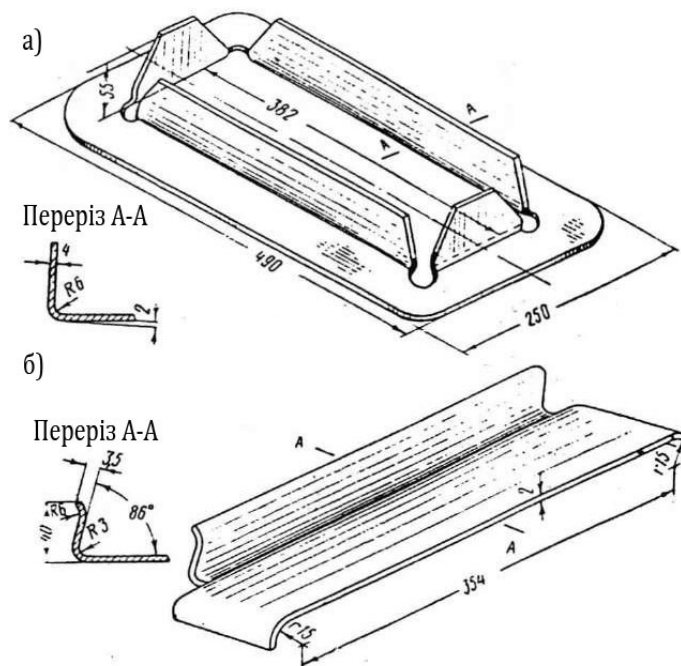
Для постановки полюсів остов установлюється на підставку донизу колекторною камерою.

Складання та постановка в остов полюсів

Осердя головних та додаткових полюсів розкладаються на спеціальному верстаку поверхнями полюсної дуги (головного) та кронштейнів (додаткового) донизу.

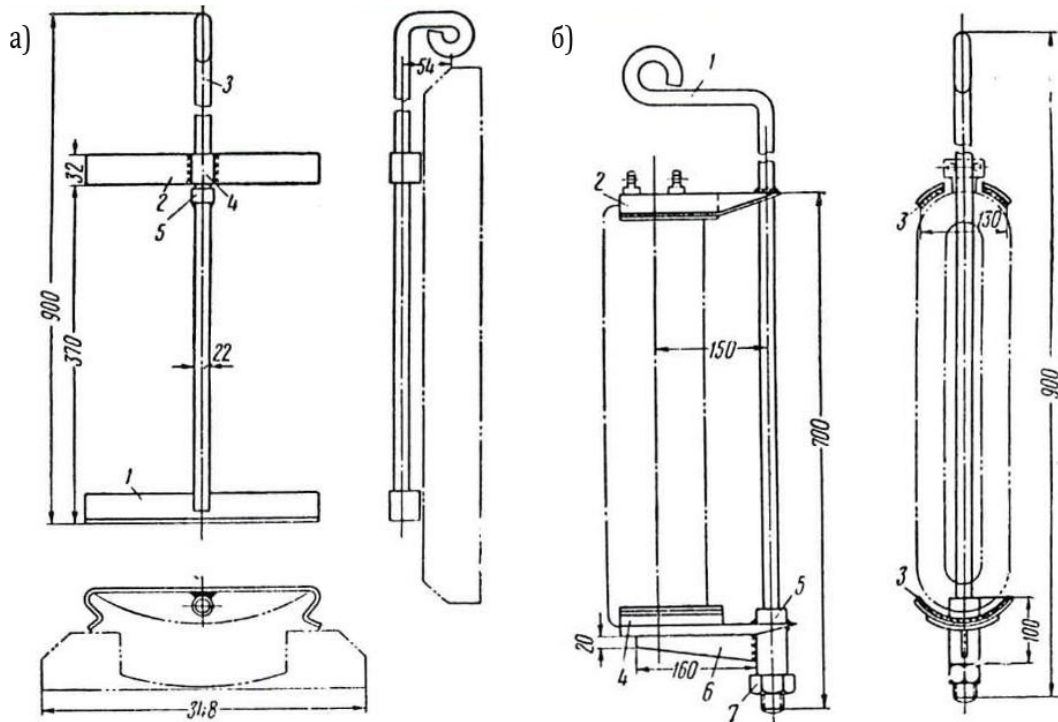
На осердя надіваються послідовно захисні рамки-каркаси, обмотки збудження, пружинки рамки (рисунок 2).

На полюс, зібраний таким чином та перевернутий догори полюсною дугою (кронштейном), накладається рамками транспортне пристосування (рисунок 3). Пристосування для транспортування головних та додаткових полюсів відрізняються лише розмірами та конфігурацією утримувальних рамок, які відповідають розмірам та конфігурації поперечного перерізу зібраного полюса.



а – для головних полюсів;
б – для додаткових полюсів

Рисунок 2 – Пружинні каркаси полюсних котушок



а – головних полюсів:

1 – опорна скоба; 2 – пересувна скоба; 3 – стрижень; 4 – втулка;
5 – обмежувальне кільце;

б – додаткових полюсів:

1 – стрижень; 2 – верхній тримач; 3 – гумова прокладка;
4 – нижній тримач; 5 – втулка; 6 – косинка; 7 – гайка

Рисунок 3 – Пристосування для підвіски полюсів

Основою пристосування є нижня рамка, нерухомо зв'язана з несучим стрижнем, який закінчується кільцем – римом. Верхня рамка пристосування має однакові з нижньою розміри та конфігурацію і встановлена рухомо на середній частині стрижня. У залежності від того, у якому напрямі відносно горловин остова встановлюються полюси виводами своїх обмоток, нижня та верхня рамки пристосування мають у своїх опорних поверхнях вирізи для цих виводів. Стрижень зверху рухомої рамки має перетин, виконаний таким чином, щоб центр маси полюса, встановленого на нижню нерухома рамку, знаходився на лінії осі частини стрижня, яка закінчується римом. Ця умова забезпечує транспортування зібраного полюса у вертикальному положенні з гарантуванням утримання його на пристосуванні.

Підіймальним краном, гак якого зачеплений за рим пристосування (останнє разом з полюсом перевертається у вертикальне положення), переноситься до остова і опускається в його горловину на рівень свердловин для кріплення болтів. В один з цих отворів просовується монтажний стрижень, загострений спереду. На нього нанизується відповідним отвором осердя полюса, поданого всередину остова.

Монтажний стрижень фіксує полюс відносно болтових отворів остова, через які здійснюється постановка кріпильних болтів. Під головки болтів установлюються розрізні шайби. Затягування болтів виконується пневматичним динамометричним торцевим ключем. Таким чином установлюються всі полюси машини. До об'єднання обмоток полюсів в єдину електричну схему стандартним пристосуванням, яке встановлюється в розточку горловин остова своїми опорами (рисунок 4), контролюється концентричне розташування осердь полюсів відносно осі остова і, таким чином, відносно осі якоря. Відхилення від концентричності (в радіальному розмірі) не більше 1,0 мм. Вимірювання концентричності виконується в трьох точках на подовжній лінії симетрії осердя полюса – посередині її та за 20 мм від її кінців.

Для виконання цих вимірів остов знімається краном з підставки і встановлюється в горизонтальне положення.

У цьому ж положенні остова болти кріплення його головних полюсів прикриті зовні деталями колісно-моторного блока (з боку моторно-осьових підшипників прикриті віссю колісної пари та її кожухом) і фіксуються постановкою до грані головки болта, сталевого сегмента, який приварюється до стінки болтового гнізда в тілі остова (рисунок 5).

У разі витримання припусків на концентричність розташування в остові всіх полюсів обмотки об'єднують у схему збудження за допомогою шин та кабельних перемичок (рисунок 6).

Кріплення кінців перемичок та вивідних кабелів виконується за допомогою болтів та гайок. Кожне з'єднання має по два болти, які в отвори перемички та виводу обмотки полюса вставляються знизу, тобто головками болтів донизу. Це забезпечує постановку гайок кріплення зверху, що полегшує їх

затягування та фіксацію плоскими дводірчастими шайбами, кути яких відгинаються на грані затягнутих гайок (рисунок 7).

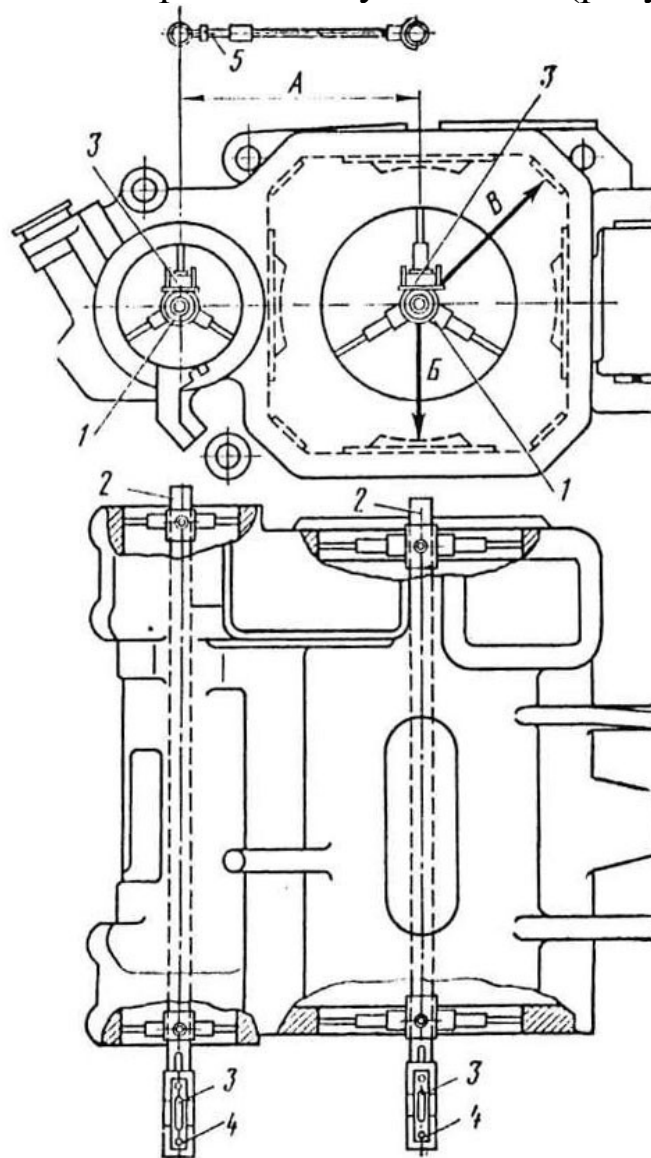
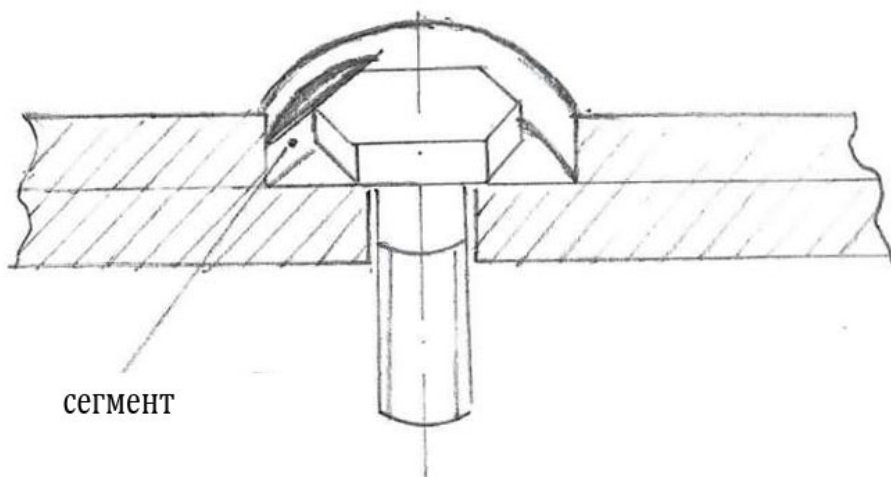


Рисунок 4 – Пристосування для контролю якості складання магнітної системи остова електродвигуна НБ-406

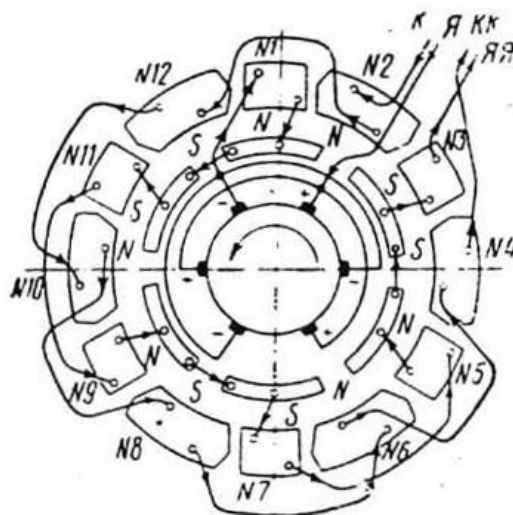
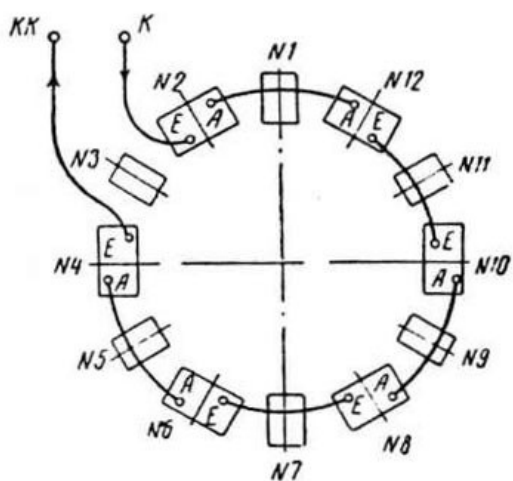


сегмент

Рисунок 5 – Болт кріплення головних полюсів

а)

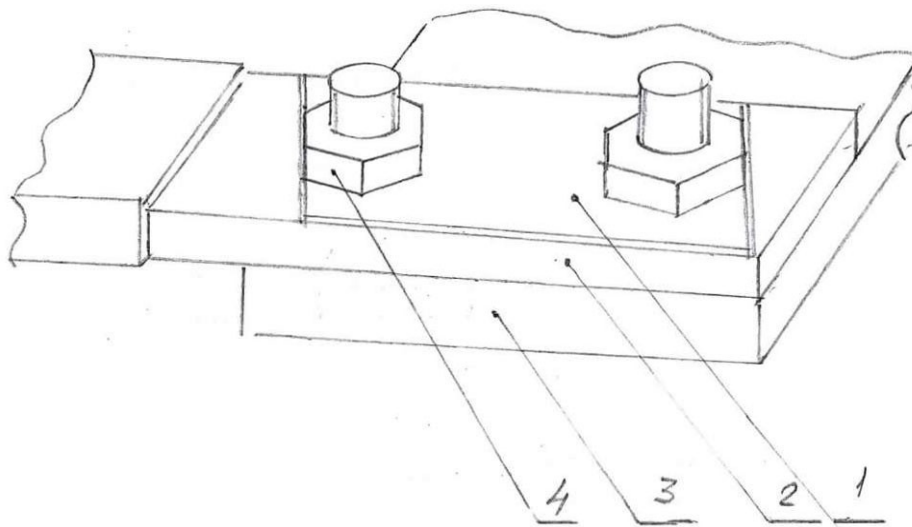
б)



а – вигляд з боку, протилежного колектору;

б – вигляд з боку колектора

Рисунок 6 – Схема об'єднання обмоток головних полюсів



1 – плоска шайба; 2 – кінець перемички; 3 – вивід обмотки;
4 – гайка

Рисунок 7 – Кріплення кінців перемичок та вивідних кабелів

Вузол з'єднання перемички та виводу обмотки полюса обмазується ізоляційною замазкою до повного покриття його неізольованих частин. Після цього він щільно обмотується в напівперекрышу двома шарами кіперної стрічки. Кіперна стрічка з'єднання кількаразово покривається термореактивним лаком.

Ізоляційна замазка виконується з азбеститу (коротко роздроблених волокон азбесту), замішаного на термореактивному лаку до консистенції замазки.

Кабельні виводи "КК" та "К", передчасно пропущені через отвори в стінці остова, приєднуються до виводів обмоток, полюсів 2 та 4 з виконанням раніше описаної технології. Місце проходження вивідних кабелів через стінку остова ущільнюється гумовими циліндричними втулками, надітими на ці кабелі.

Після виконання описаних операцій остов перевертається колекторною камерою догори і знову встановлюється на технологічній підставці. У такому його положенні за допомогою шин та кабельних перемичок виконують об'єднання в схему всіх обмоток додаткових полюсів. Технологія виконання вузлів з'єднання кабельних перемичок або шин з виводами обмоток описана раніше для головних полюсів. Схема об'єднання обмоток додаткових полюсів подана на рисунку 8.

Вигляд з боку колектора



Рисунок 8 – Схема з'єднання обмоток додаткових полюсів

Оснащення остова щіткотримачами

Торцева стінка остова з боку його колекторної камери має просвердлені отвори для постановки болтів кріплення: підшипникового щита – 6 шт. з різьбою М24-М30. У чотирьох полюсних двигунах на ній просвердлюється чотири пари отворів без різьби під болти М24 кріплення бракетів щіткотримачів. З внутрішнього боку стінка навколо цих отворів під болти кріплення бракетів має розмірні розточки – заглиблення, в які мають ставитися напрямні бурти сталевих пальців корпусів бракетів.

Якщо двигун виконано з шістьма або більшою кількістю полюсів, щіткотримачі встановлюються на поворотній траверсі (ярмі). Траверса дозволяє переміщувати щіткотримачі в будь-яке положення для огляду та обслуговування. Траверса на своїй торцевій поверхні має парні просвердлені отвори без різьби під болти М24 кріплення бракетів щіткотримачів. Кількість пар просвердлених отворів повинна дорівнювати кількості полюсів двигуна. Траверса з боку, повернутого до якоря, має розмірні розточки-заглиблення, в які встановлюються напрямні бурти сталевих пальців корпусів бракетів.

Промиті авіаційним бензином бракети встановлюються напрямними буртами в розточки стінки або траверси і притягуються до неї болтами з розрізними шайбами. На бракети встановлюються в необхідному положенні з максимально можливим зазором відносно колектора якоря щіткотримачі без щіток. Корпуси бракетів об'єднуються ізольованими шинами – перемичками згідно зі схемою на рисунку 8. Кріплення кожного з кінців перемичок до корпусів бракетів – двома болтами з фіксацією їх плоскими дводірчастими шайбами з відгином їх кутів на грань головки болта. Вузол з'єднання перемички з корпусом бракетів двічі покривається нітроемаллю.

Постановка підшипникового щита з боку колекторної камери

Після монтажу в остові бракетів щіткотримачів у його отвір горловини для підшипникового щита встановлюється стандартний індукційний нагрівач, яким зона навколо отвору прогрівається до температури $t=180^{\circ}\text{C}$. Останнє тимчасово ліквідує діаметральний натяг раніше підготовленого щита відносно остова. Заздалегідь підготовлений щит, у підшипниковій камері якого закладена зовнішня обойма підшипника з комплектом роликів у сепараторі, закрита зовнішньою та внутрішньою кришками і забита консистентним мастилом марки 1ЛЗ ДЕСТ1631-75, краном встановлюється в отвір горловини остова. При цьому необхідне положення болтових отворів щита відносно таких же отворів стінки остова встановлюється шляхом постановки в один з болтових отворів стінки через парний йому отвір у фланці щита прямого технологічного стрижня.

Після опускання посадочного бурта щита в отвір горловини остова щит притягується кріпильними болтами до стінки остова. Для виключення перекосу бурта щита в горловині стінки затягування болтів виконується хрест-навхрест.

Підготовка щитів до складання машини

Підшипникові щити, після механічної обробки та перевірки їх технічним контролем механічного відділення машинного цеху, подаються карами на складальний майданчик. Після обдування стисненим повітрям та протирання серветкою щита в його центральну розточку – підшипникову камеру вставляється змащена підшипниковим мастилом зовнішня обойма підшипника з комплектом роликів у сепараторі. Ролики підшипника обмазуються консистентним мастилом 1ЛЗ ДЕСТ 1631-75. Підшипникова камера закривається з обох боків кришками, які центруються по розточці щита своїми напрямними буртами та стягуються до оброблених торцевих поверхонь щита болтами. Стяжні болти мають довгі стрижні, які дозволяють пропустити кожен з них через отвори у фланці передньої кришки, у стінці щита і вкрутити їх нарізні кінці в нарізні отвори задньої кришки. Рівномірним підтягуванням болтів зовнішня обойма підшипника фіксується між торцями напрямних буртів кришок.

Постановка якоря в зібраний остов машини

Якір машини, остаточно виконаний та прийнятий технічним контролем якірного відділення машинного цеху, заздалегідь надходить на складальний майданчик, де укладається на спеціальні підставки. Підставки мають дугоподібні вирізи, поверхні яких покриті м'яким шаром технічної повсті і цим забезпечують неможливість скочування з них якорів та пошкодження їх поверхонь.

Для монтажу якоря остов машини підймальним краном перевертається колекторною камерою донизу і знову встановлюється на підставку в точно вертикальному положенні.

Монтаж якоря до зібраного остова машини здійснюється за допомогою підймального крана. Для цього на різьбовий кінець якоря, протилежний його колектору, нагвинчується технологічна гайка – рим, за який потім чіпляється гак крана. Якір краном піднімається з горизонтального положення у вертикальне, у якому його внутрішні обойми підшипників, дистанційні та лабіринтні кільця протираються чистою серветкою, змоченою злегка авіаційним бензином. Піднятий краном до необхідної

висоти якір переноситься до остова та опускається донизу через його магнітну систему.

Увага! При опусканні якоря в остов безперервно контролюється та забезпечується неможливість удару колектора по елементах магнітної системи остова або по щіткотримачах, а торця внутрішньої обойми нижнього підшипника – по його роликах. Опускання якоря закінчується після того, як торець бурта внутрішньої обойми підшипника торкнеться торців роликів підшипникового набору. При цьому нижній кінець вала якоря пройде через отвори задньої і передньої кришок нижнього підшипникового щита.

Після цього за раніш описаною технологією встановлюється підшипниковий щит з боку, протилежного колекторній камері. Після кріплення цього щита болтами якір зібраної машини, діючи на кінець його вала, руками обережно прокручується з метою упевнитися в якості її складання.

Якісне складання машини підтверджується легким, без зайвого шуму та чіпляння якоря його обертанням у підшипниках.

Після закінчення вказаної перевірки зібрана машина краном перевертається колекторною камерою догори. Таке положення машини дозволяє швидко і якісно встановити її щіткотримачі в робоче положення з необхідним зазором між колектором в 1...2 мм, встановити в них заздалегідь притерті за шаблоном колектора машини щітки та прикріпити їх струмопровідні шунти.

Завершальні операції складання машини

Остаточними операціями складання машини є операції постановки на вихлопні вікна остова захисних сіток та скоб їх прикриття, постановки клем або клемних коробок із заведенням до них вивідних кабелів К, КК та Я, ЯЯ, постановки та кріплення кришок люків колекторної камери сітки приймальної горловини системи повітряного охолодження, фарбування машини чорною емаллю БТ-99 і після її висихання – кріплення фірмової таблички з постановкою на ній номера й дати випуску машини, її електричних та загальних параметрів.

1.2 Складання технологічної карти

Перша частина проекту повинна завершуватися розробленням технологічної карти загального складання чи складання (виготовлення) окремих елементів тягового двигуна

Карта складається за формою, поданою нижче.

Завдання на складання технологічної карти видається кожному студенту окремо викладачем - керівником проектування при видачі завдання на проект.

**Технологічна карта
складання тягового електродвигуна постійного струму
типу НБ-406Б**

№ п/п	Найменування технологічних операцій	Ескіз операції	Технологічні умови, інструкції, правила	Оснащення, інструмент	Час на операцію	Фах виконавця	Тарифний розряд виконавця
1	2	3	4	5	6	7	8

2 ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

2.1 Загальні відомості. Контрольні й типові випробування

ДЕСТ 2582-66 на тягові електричні машини постійного та пульсуючого струму вимагає два види їх випробування - контрольні та типові. Контрольні випробування проводяться для перевірки якості виготовлення чи ремонту машин.

Метою типових випробувань є дослідні визначення номінальних їх характеристик, а також повна перевірка працездатності машин. Типові випробування проводяться при виробництві електричних машин нових типів, при змінах їх конструкції, технології виробництва або матеріалів, якщо ці

зміни мають вплинути на характеристики або потужність та граничні якості машини.

У процесі виготовлення або ремонту тягових електромашин майже після кожної технологічної операції проводяться їх контрольні вимірювання або випробування. Працездатність машини та відповідність її основних даних номінальним залежать не тільки від стану та точності виготовлення окремих деталей, але і від якості їх складання. Тому кожну машину після її складання обов'язково пропускають через контрольні випробування, які проводяться відділами технічного контролю підприємства-виготовлювача або ремонтного підприємства за програмою в такій послідовності: огляд та перевірка габаритних розмірів машини, перевірка опору обмоток, випробування на нагрівання протягом години (або меншого проміжку часу, відповідного номінальному режимові машин такого типу), перевірка швидкості обертання в обох напрямках при номінальній потужності випробування на підвищену швидкість обертання, перевірка комутації, опору ізоляції, перевірка міцності ізоляції.

2.2 Навантаження машин

Для випробувань тягових електричних машин застосовуються способи їх безпосереднього або взаємного навантаження.

При безпосередньому навантаженні (рисунок 9) двигун Д, який навантажується, підключається до джерела електричної енергії з необхідною напругою U_K , а його вал спеціальною муфтою з'єднується з валом другої електричної машини Г (такої ж або більшої потужності), яка працює в генераторному режимі, навантажуючи двигун, який випробовується. Електричну енергію, яка виробляється генератором Г, гасять на навантажувальних опорних резисторах R_n . Зміна навантаження двигуна досягається регулюванням навантажувального резистора R_n та струму в обмотці збудження генератора $I_{вт}$. Для навантаження двигуна, який випробовується, можна використати яку-небудь іншу гальмову установку, яка має достатню

потужність та регульовальні властивості, необхідні для випробувань.

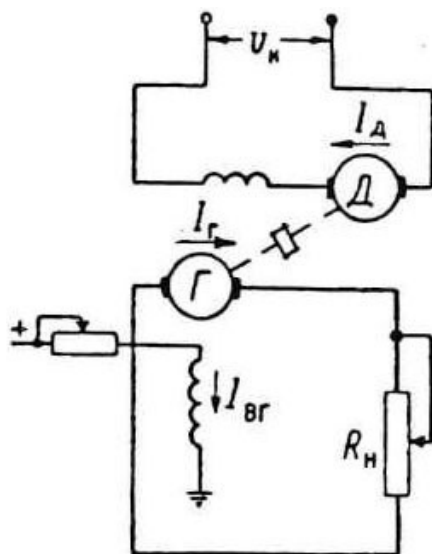


Рисунок 9 – Схема безпосереднього навантаження електродвигуна, який випробовується

Недолік цього методу навантаження полягає в значних втратах електроенергії, особливо у двигунів великої потужності, тому що потужність, яка повинна бути погашена в навантажувальному резисторі, менше потужності, підведеної до двигуна, який випробовується, тільки на величину витрат у цьому двигуні та в навантажувальному генераторі Г.

Потреба знизити витрати електроенергії при випробуваннях привела до використання способу взаємного навантаження двигуна, який випробовується, та навантажувального генератора.

Особливість цього методу полягає в тому, що електричну енергію навантажувального генератора не гасять на опорних резисторах, а віддають тому ж двигуну, який приводить у дію цей генератор. При цьому енергія, яка споживається з мережі або від якихось інших джерел, дорівнює тільки енергії втрат у двигуні та генераторі. У порівнянні зі способом безпосереднього навантаження такий спосіб веде до зниження втрат енергії на випробуваннях у чотири-п'ять разів.

Схема вмикання машин для їх випробувань способом взаємного навантаження наведена на рисунку 10.

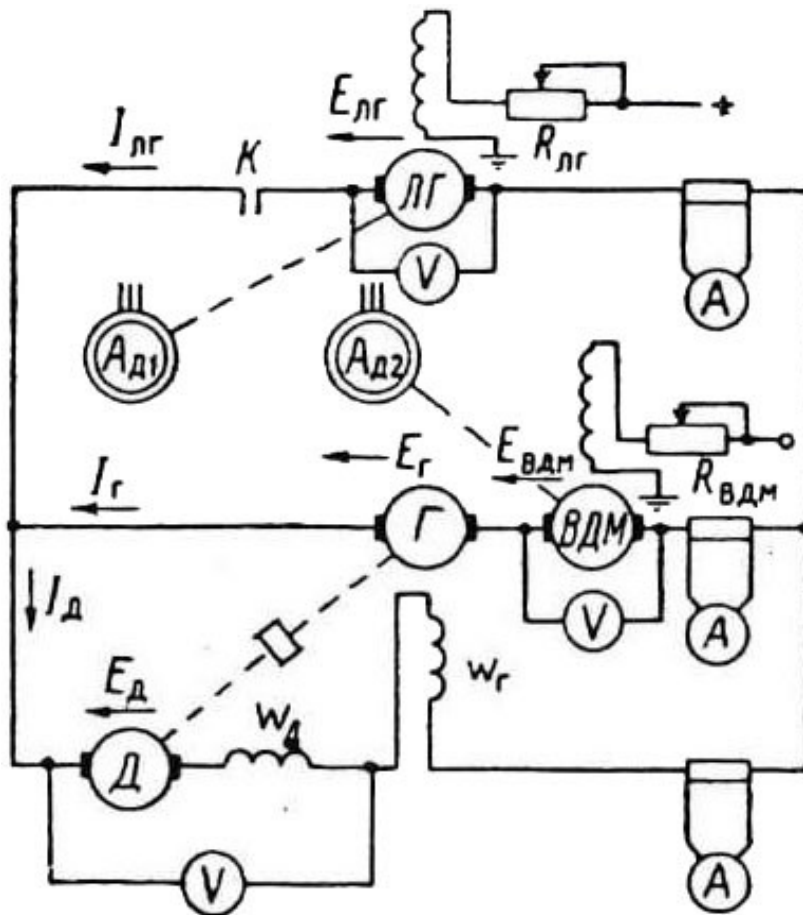


Рисунок 10 – Схема взаємного навантаження тягового електродвигуна, що випробовується

У даній схемі як генератор Г використовують машину такого ж типу, як і двигун, призначений до випробування. Для покриття втрат у двигуні та генераторі використовують спеціальний лінійний генератор ЛГ, який призводять до обертання асинхронним двигуном АД1. Оскільки генератор послідовного збудження не може працювати паралельно з іншим джерелом електричної енергії, то і в схемі (рисунок 10) паралельна робота генератора Г з лінійним генератором ЛГ теж неможлива. Тому обмотку збудження W_{Γ} цього генератора вмикають у коло струму двигуна Д. У цьому випадку зустрічно направлені ЕРС обертання двигуна $E_{\text{д}}$ та генератора $E_{\text{г}}$ будуть завжди однакові, тому що двигун та генератор – машини одного й того ж типу і працюють з однаковою швидкістю обертання (їх вали з'єднані муфтою) та мають однакові магнітні потоки, бо по їх обмотках збудження проходить один і той же струм $I_{\text{д}}$.

Для того, щоб машина Г працювала в генераторному режимі, її ЕРС обертання повинна бути більше ЕРС обертання двигуна Д. Це може бути досягнуто посиленням магнітного потоку машини Г шляхом збільшення її збудження струмом від стороннього джерела. Але ж можливості регулювання магнітного потоку та ЕРС машини Г в даному випадку стримуються насиченням її магнітної системи або можливим нагріванням обмотки збудження. Для зняття цих обмежень послідовно з машиною Г вмикається спеціальний вольтододатковий генератор ВДМ, який приводять до обертання синхронним двигуном АД2.

Генератор ЛГ та вольтододааткова машина ВДМ мають обмотки незалежного збудження. Повільне регулювання струму в цих обмотках реостатами $R_{ЛГ}$ та $R_{ВДМ}$ дає можливість плавно регулювати їх ЕРС обертання, тобто і напругу на їх виводах.

Якщо контактором К вимкнути коло лінійного генератора, то ЕРС працюючої вольтододааткової машини спричинить струм у колі "двигун-генератор". При однакових характеристиках намагнічування машин Д та Г їх обертаючі моменти мають бути однакові та направлені в залежності від напрямку струму в обмотках збудження машин. При випробуваннях двигунів таким способом їх обмотки збудження вмикають так, щоб одержати зустрічне направлення обертальних моментів. У такому разі моменти урівнюють один одного, тому машини не обертаються. Обертання машин стане можливим тільки в разі розходження їх магнітних характеристик.

Якщо при достатній напрузі на затискачах лінійного генератора закрити контактор К, то струм його піде по колу двигуна, тому що $E_D < E_G + E_{ВДМ}$. Струм двигуна I_D буде більше струму генератора I_G на величину струму лінійного генератора $I_{ЛГ}$, $I_D = I_G + I_{ЛГ}$, що викличе однакове збільшення магнітних потоків, тобто і ЕРС обертів двигуна та генератора, тому що обмотки збудження обох машин замкнені послідовно в коло струму двигуна. Обертальний момент двигуна більше, ніж генератора, тому що при однаковості їх магнітних потоків струм двигуна більше струму генератора, внаслідок чого машини будуть обертатися прискорено доти, поки електромагнітний обертальний момент двигуна не стане врівноваженим електромагнітним моментом генератора та моментами протидії

обертанню, які виникають від магнітних та механічних втрат у двигуні та генераторі.

Для того, щоб з'ясувати, який вплив має зміна напруги вольтододаткової машини та лінійного генератора на струм і напругу двигуна, який випробовується, можна розглянути рівняння електричної рівноваги в колі "двигун-генератор".

$$E_{\text{ВДМ}} + E_{\Gamma} - E_{\text{Д}} = I_{\Gamma} \cdot r_{\text{ВДМ}} + I_{\Gamma} \cdot r'_{\Gamma} + I_{\text{Д}} \cdot (r'_{\text{Д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}) \quad (1)$$

де $r_{\text{ВДМ}}$ – опір обмоток вольтододаткової машини в колі струму генератора, Ом;

$r'_{\Gamma} > r'_{\text{Д}}$ – опір обмоток якорів та додаткових полюсів генератора і двигуна, Ом;

$r_{\text{ВД}} > r_{\text{ВГ}}$ – опір обмоток збудження двигуна та генератора, Ом.

Якщо взяти до уваги, що $E_{\Gamma} = E_{\text{Д}}$ та $E_{\text{ВДМ}} - I_{\Gamma} \cdot r_{\text{ВДМ}} = U_{\text{ВДМ}}$, то після деяких перебудов вищезазначеної формули можна визначити, що

$$U_{\text{ВДМ}} + I_{\Gamma} \cdot r'_{\Gamma} + I_{\text{Д}} \cdot (r'_{\text{Д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}). \quad (2)$$

З цього рівняння випливає, що напруга вольтододаткової машини компенсує падіння напруги в обмотках двигуна та генератора.

Ураховуючи, що $I_{\Gamma} = I_{\text{Д}} - I_{\text{ЛГ}}$, А, на підставі значення $U_{\text{ВДМ}}$ можна визначити, що

$$I_{\text{Д}} = \frac{U_{\text{ВДМ}}}{r'_{\Gamma} + r'_{\text{Д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}} + I_{\text{ЛГ}} \cdot \frac{r}{r'_{\Gamma} + r'_{\text{Д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}}. \quad (3)$$

З формули (3) випливає, що струм двигуна, який випробовується, залежить від напруги на затискачах вольтододаткової машини та від струму лінійного генератора, який при сталому режимі в багато разів менше струму двигуна, тому що він обумовлюється тільки тією частиною моменту двигуна, яка необхідна для компенсації моментів протидії обертання якорів машин.

Оскільки вплив струму лінійного генератора на значення струму двигуна порівняно невеликий, то приблизно можна вважати, що струм двигуна, який випробовується, пропорційний напрузі вольтододаткової машини:

$$I_{\text{д}} = \frac{U_{\text{ВДМ}}}{r'_{\text{Г}} + r'_{\text{д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}}. \quad (4)$$

Для зміни струму двигуна потрібно регулювати збудження вольтододаткової машини. Напруга на затискачах двигуна, який випробовується, залежить від напруги лінійного генератора, V ,

$$U_{\text{К}} = U_{\text{ЛГ}} - I_{\text{ЛГ}} \cdot r_{\text{ВГ}}. \quad (5)$$

Падіння напруги в обмотці збудження генератора мале в порівнянні з напругою ЛГ, а тому напруга на затискачах двигуна приблизно дорівнює напрузі лінійного генератора.

Ураховуючи все викладене вище, можна визначити потрібні потужності ВДМ та ЛГ. Падіння напруги в обмотках двигуна та в обмотках збудження генератора, увімкнених в одне послідовне коло,

$$\Delta U_{\text{д}} = I_{\text{д}} \cdot (r'_{\text{Г}} + r'_{\text{д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}}). \quad (6)$$

На основі (2)

$$U_{\text{ВДМ}} = I_{\text{д}} \cdot r'_{\text{Г}} + \Delta U_{\text{д}}. \quad (7)$$

Значення потужності, W_t , можна одержати шляхом помноження обох частин рівняння (7) на струм генератора $I_{\text{Г}}$:

$$P_{\text{ВДМ}} = U_{\text{ВДМ}} \cdot I_{\text{Г}} = I_{\text{Г}}^2 \cdot r'_{\text{Г}} + I_{\text{Г}} \cdot \Delta U_{\text{д}}. \quad (8)$$

З рівняння (8) видно, що потужність ВДМ компенсує електричні втрати двигуна та генератора, які з'являються при проходженні по них струму генератора.

Для визначення потужності ЛГ треба помножити на величину $I_{\text{ЛГ}}$ обидві частини рівняння (5), звідки

$$P_{\text{ЛГ}} = U_{\text{ЛГ}} \cdot I_{\text{ЛГ}} = E_{\text{Г}} \cdot I_{\text{ЛГ}} - I_{\text{ЛГ}} \cdot \Delta U_{\text{д}}. \quad (9)$$

Електромагнітна потужність $P_{\text{ЕМ}} = E_{\text{Г}} \cdot I_{\text{ЛГ}}$ дорівнює механічним та магнітним втратам у двигуні та генераторі, а потужність $P_{\text{ЕЛ}} = I_{\text{ЛГ}} \cdot \Delta U_{\text{д}}$ — потужність електричних втрат, пов'язаних з проходженням струму $I_{\text{ЛГ}}$ по колу двигуна.

Потужність лінійного генератора покриває магнітні та механічні втрати у двигуні та генераторі, а також невелику частину електричних втрат в обмотках двигуна та обмотці збудження генератора. На практиці потужність ЛГ прирівнюють до подвоєної потужності магнітних та механічних втрат у двигуні, який випробовується, а потужність ВДМ – до подвійних механічних втрат при відповідному режимі.

Струм лінійного генератора

$$I_{\text{ЛГ}} = \frac{P_{\text{ЛГ}}}{U_{\text{к}} + I_{\text{д}} \cdot r_{\text{ВГ}}} \quad (10)$$

Рівняння (1) – (10) дозволяють визначити потужність, струми і напруги ВДМ та ЛГ для будь-якого навантаження двигуна на його випробуваннях. Параметри цих машин слід вибирати так, щоб вони забезпечували всі навантаження та напруги машини, яка випробовується, що передбачається програмою випробувань.

Перед проведенням випробувань повинна бути зроблена перевірка стану кожної машини, поданої на випробування. Якщо необхідно, ліквідують механічні причини іскріння. При монтажі машин на випробувальний стенд їх вали точно центруються і з'єднуються між собою спеціальною муфтою. З'єднання валів та кріплення машин до фундаменту повинні бути достатньо міцними та виключати їх вібрацію під час випробувань.

2.3 Проектування стенда випробування тягових електричних машин

У загальному обсязі курсового проекту повинно бути докладно розроблено технологію випробування тягових машин постійного струму, схеми, оснащення та конструкцію стенда для цих випробувань.

Розрахункова частина цього розділу повинна складатися з визначення необхідних потужностей допоміжних машин ЛГ та ВДМ. Як допоміжні машини застосовують генератори постійного струму необхідної потужності, які вибирають з ряду генераторів, що виробляються вітчизняною промисловістю або промисловістю країн СНД [1]. У залежності від потужності

вибраних машин до них повинні бути підібрані приводні асинхронні двигуни [1]. За значеннями параметрів роботи машин, що випробовуються, та допоміжних з ряду приладів, що виготовляються вітчизняними виробництвами, вибираються контрольно-вимірювальні прилади – вольтметри, амперметри і тахометри.

Розрахунки починаються з установлення паспортних параметрів двигунів, які повинні випробовуватися на проектному стенді:

- а) тип або серія двигуна;
- б) потужність P_d , кВт;
- в) годинний режим: струм I_d , А;
напруга U_K^d , В;
швидкість обертання, n_d , об/хв;
- г) опір обмоток якоря r'_d , Ом;
- д) опір кола, обмоток збудження $r_{вд}$, Ом;
- е) опір кола обмоток додаткових полюсів $r_{дп}$, Ом;

$$P_d = P_\Gamma; I_d = I_\Gamma; U_K^d = U_K^\Gamma; n_d = n_\Gamma; r'_d = r'_\Gamma; r_{вд} = r_{в\Gamma}.$$

Але на стенді внаслідок особливостей вмикання машин у схему випробування, їх струми та напруги нерівні. Потрібна напруга на виході ВДМ, яку слід використати на стенді, може бути визначена з використанням формули (4)

$$U_{вдм} \approx I_d \cdot (r'_\Gamma + r'_d + r_{вд} + r_{в\Gamma}),$$

а напруга на виході лінійного генератора ЛГ – формули (5)

$$U_{лг} = U_K^d + I_d \cdot r_{в\Gamma}.$$

Потужності допоміжних машин дорівнюють:

$$P_{вдм} = U_{вдм} \cdot I_\Gamma,$$

$$P_{лг} = U_{лг} \cdot I_{лг},$$

де $I_\Gamma = I_d - I_{лг}$, А,

так як $I_{лг} = P_{лг} / U_{лг}$ а $I_\Gamma = I_d - P_{лг} / U_{лг}$, то на основі формул (10), (9), (5) та рівняння $I_{лг} = I_d - I_\Gamma$:

$$I_{\text{ЛГ}} = \frac{P_{\text{ЛГ}}}{U_{\text{к}}^{\text{д}} + I_{\text{д}} \cdot r_{\text{ВГ}}} = I_{\text{д}} \cdot \frac{U_{\text{ВДМ}} - I_{\text{д}} \cdot (r'_{\text{д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}})}{r'_{\text{Г}}},$$

$$I_{\text{Г}} = \frac{U_{\text{ВДМ}} - I_{\text{д}} \cdot (r'_{\text{д}} + r_{\text{ВД}} + r_{\text{ВГ}})}{r'_{\text{Г}}}.$$

При остаточному виборі допоміжних машин ураховують можливі відхилення в їх характеристиках, опорах обмоток та втратах у двигуні і генераторі. Тому визначені за вищенаведеними розрахунками потужності ЛГ та ВДМ підвищують на 10... 15% [1].

$$P'_{\text{ЛГ}} = 1,15 \cdot U_{\text{ЛГ}} \cdot I_{\text{ЛГ}},$$

$$P'_{\text{ВДМ}} = 1,15 \cdot U_{\text{ВДМ}} \cdot I_{\text{ВДМ}}.$$

За значеннями потужностей $P'_{\text{ЛГ}}$ та $P'_{\text{ВДМ}}$ з каталогів або довідників [7] слід вибрати електричні машини постійного струму з частотами обертання асинхронного двигуна змінного струму (1400...1450 об/хв), які рекомендовано до використання як їх привод. З діючих каталогів чи довідників [5, 6] вибираються також трифазні асинхронні двигуни, які надалі мають бути використані як приводні до ЛГ та ВДМ.

За максимальними значеннями струмів та напруг вибраних електричних машин за довідниками чи каталогами вибираються вимірювальні прилади – вольтметри, амперметри та тахометри (див. схему рисунка 10).

Параметри машин та приладів зводяться у таблицю 2.

Таблиця 2 – Параметри допоміжних машин та приладів контролю їх роботи на випробувальному стенді

Прилади	Тип	P, кВт	n, об/хв	I, А	U, В	G, кг	r, Ом	r _в , Ом
ЛГ								
ВДМ								
Привод ЛГ АД1								
Привод ВДМ АД2								
Ланцюг ЛГ V ₁ вольтметр A ₁ амперметр								

Ланцюг ВДМ V_2 вольтметр A_2 амперметр								
Ланцюг Д V_3 вольтметр A_3 амперметр								
Тахометр								

Як тахометр можна використати механічний тахометр або електронний частотомір з індуктивним датчиком. Оскільки електричний частотомір вимірює кількість коливань за секунду, переведення цієї розмірності в розмірність оберт за хвилину виконується шляхом підвищення частоти сигналу по обертах в шістдесят разів. Для цього на деталь, що обертається, або вузол машини встановлюється і жорстко кріпиться до неї в площині постановки індуктивного датчика диск з шістдесятьма зовнішніми зубцями, що забезпечує подання на датчик шістдесят імпульсів за один оберт диска. При цьому електронний частотомір перераховує подані на нього сигнали з індуктивного датчика в показання обертів за хвилину.

2.4 Стенд для випробувань тягових електромашин

Основою стенда для випробувань тягових електромашин є фундаментна плита, яка відливається з чавуну або зварюється з профільного заліза-швелерів, кутового чи Z-подібного (рисунок 11).

Після лиття чи зварювання плити необхідного розміру по довжині та ширині вона стругається чи фрезерується по площині А. Після такої обробки встановлюється строго по нівеліру на бетонний фундамент та кріпиться до нього на анкерних шпильках.

Для монтажу машин, що випробовуються, на фундаментній плиті встановлюються два комплекти опор, які кріпляться до неї болтами.

Головки болтів заводяться до внутрішніх пазів. Опори виконуються з листової сталі, мають ребра жорсткості. У комплекті дві опори – основна та підтримна (рисунок 12).

Довжина основної опори дорівнює довжині двигуна. Вона має похилу рівну встановлювальну поверхню, на яку ставиться та

кріпиться двигун своїми фланцями кришок моторно-осьових підшипників (кришки з фланців зняті). Кріплення виконується всіма вісьма болтами.

Другий комплект опор використовується для постановки на стелді двигуна-генератора. Оскільки він розвернутий відносно двигуна, який випробовується, на 180° , для того щоб з'єднати муфтою вихідні кінці їх валів, на 180° розвернутий і другий комплект опор відносно першого.

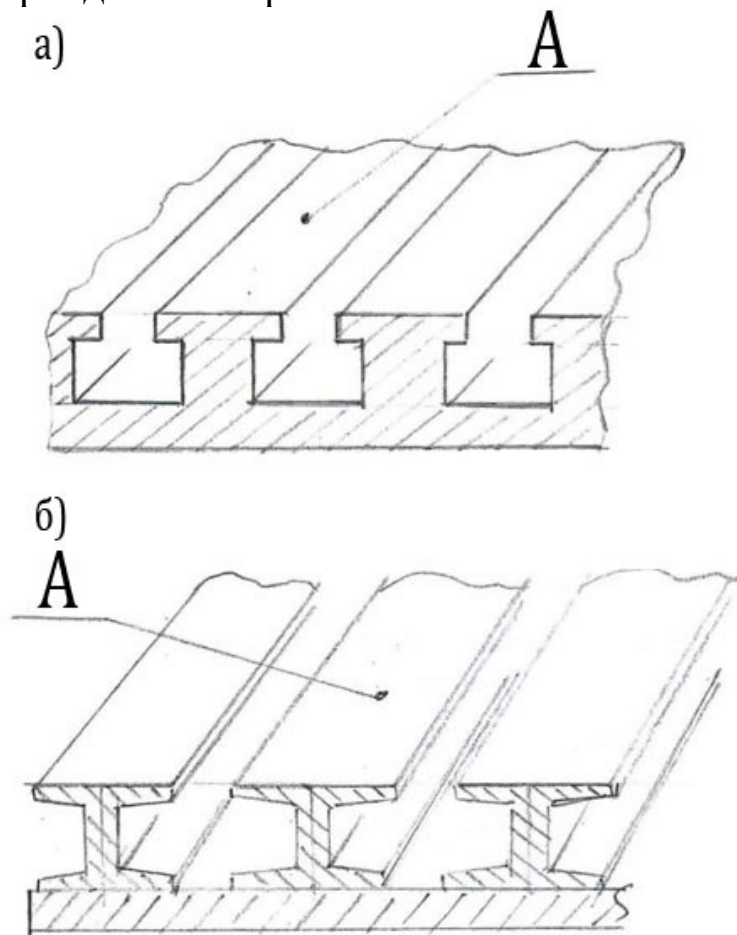


Рисунок 11 – Фундаментальна плита випробувального стенда

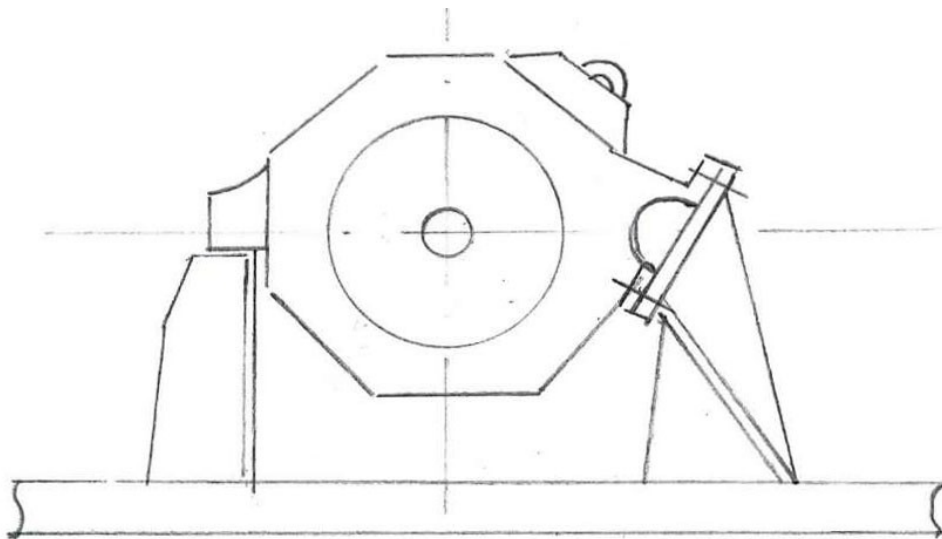


Рисунок 12 – Комплект опор

Комплекти опор установлені на фундаментній плиті таким чином, щоб осі встановлених на них двигуна та двигуна-генератора знаходились на одній прямій.

Оскільки ДЕСТ 2582-66, який визначає вимоги до тягових електричних двигунів, установлює, що визначення годинної (чи якоїсь іншої короткочасної) потужності повинно відбуватися при "нормально діючій вентиляції та при закритих оглядових люках...", стенд повинен бути обладнаний примусовою повітряною вентиляцією для двигуна та генератора.

Система вентиляції може бути індивідуальною чи груповою. Остання найбільш вигідна, тому що будується на одному вентиляторі, що зменшує потрібну робочу площу цеху випробувань. Але при цьому ускладнюється система повітряних коробів підведення повітря до кожної машини. За значенням витрат повітря $Q_{\text{пов}}$, потрібного для вентиляції двигуна та генератора, вибирається вентилятор та двигун його привода [3].

Для з'єднання валів двигуна і двигуна-генератора використовується змінна муфта. Її півмуфти встановлюються на кінці валів цих машин за допомогою шпонок і закріплюються від сповзання з них гайками кріплення малих шестірень.

Звичайно як з'єднувальні муфти використовують кільцеві муфти. Ці муфти розраховуються на основі значення максимального моменту, який передається ними. Для машин, що

випробовуються на стенді, розрахунковий момент M , кгс·м, дорівнює

$$M = 0,974 \cdot \eta \cdot U_k \cdot \frac{U}{n},$$

де η – ККД двигуна, який для цих розрахунків можна прийняти рівним 0,96...0,94.

Муфта проектується та розраховується згідно з методиками, викладеними у відповідних джерелах [3].

Оскільки пальцеві муфти з гумовими втулками, на їх пальцях допускають значні відхилення від лінійності та зміщення осей валів машин, останні на стенді практично не центруються. Правильність постановки машин на стенді одна відносно іншої лише контролюється методами та приладами центрівок.

2.5 Програма контрольних випробувань тягового електродвигуна

Кожна машина після складання підлягає контрольним випробуванням за такою програмою і в такій послідовності:

- 1 Огляд та перевірка габаритних розмірів машини.
- 2 Перевірка електричного опору обмоток.
- 3 Випробування на нагрів протягом години (або меншого проміжку часу, відповідного номінальному режиму машини даного типу).
- 4 Перевірка швидкості обертання у двох напрямках при номінальній потужності.
- 5 Випробування на підвищену швидкість обертання.
- 6 Перевірка комутації.
- 7 Перевірка опору ізоляції.
- 8 Перевірка електричної міцності ізоляції.

Основні вимоги до типових та контрольних випробувань і вимоги до їх проведення наведені в ДЕСТ 2582-66.

Запуск установлених на стенді та об'єднаних у схему випробувань машин починається з того, що запускаються двигуни ЛГ та ВДМ. При цьому контактор K вимкнений, а збудження ЛГ та ВДМ мінімальне. Збільшенням збудження ВДМ регулюється струм двигуна D . Увімкнення контактора K та

підвищення збудження ЛГ приводить до початку обертання двигуна Д та навантаження його генератором Г.

2.6 Електромеханічні характеристики

Основою визначення електромеханічних характеристик двигуна є його швидкісна характеристика, зняття якої виконується після того, як шляхом збільшення збудження лінійного генератора ЛГ напруга U_k , що подана на вхід двигуна Д, доводиться до значення U_k його номінального режиму. Підтримання встановленого значення напруги ($U_k = \text{const}$) та зміна величини струму I_d шляхом регулювання збудження працюючих ЛГ та ВДМ дає змогу отримати величини точок швидкісної характеристики двигуна, параметри яких записуються до таблиці випробування (таблиця 3).

Таблиця 3 – Параметри роботи двигуна №__ при його випробуваннях 2013 р.

Номер дослід у	$U_k, В$	$I_d, А$	N, об/хв	Лінійний генератор		Вольтододатков а машина	
				$U_{лг}, В$	$I_{лг}, А$	$U_{вдм}, В$	$I_{вдм}, А$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Одночасно із записами параметрів точок швидкісної характеристики в таблицю 3 заносяться параметри роботи лінійного генератора та вольтододадкової машини. Останнє дає змогу підрахувати потужність втрат $\sum \Delta P_d$, Вт, у двигуні Д, який проходить випробування [1]:

$$\sum \Delta P_d = \frac{U_{вдм} \cdot I_{вдм} + U_{лг} \cdot I_{лг} + (I_d + I_{вдм}) \cdot I_{лг} \cdot (r'_d - r_{лг})}{2}$$

де $r_{я} = (r'_d - r_{дп})$.

Звідки

$$\eta_d = \frac{\sum \Delta P_d}{U_k \cdot I_d}.$$

Використовуючи значення n та η рахують значення моменту, кгс·м, для різних значень струму I_d

$$M_d = 0,974 \cdot \eta \cdot \frac{U_k \cdot I_0}{n}.$$

Розрахунки величини η та M зводяться у таблицю 4.

$$U_k = \text{_____} \quad B = \text{const.}$$

Таблиця 4

Номер досліджу	I_d , А	n , $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$	$\sum \Delta P_d$	$P_d = U_k \cdot I_d$, Вт	η_d	M_d
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Примітка – Значення I_d , А, і n , об/хв, взяти з таблиці 3

За даними таблиці 4 будуються криві електромеханічних характеристик двигуна.

ДЕСТ 2582-66 установлює, що значення номінального обертального моменту двигуна, отриманого при типових його випробуваннях, не повинні відрізнятися від установлених технічними умовами більш ніж на $\pm 5\%$, а допустимі відхилення швидкості обертання – від величини, встановленої при типових випробуваннях у режимі номінальної потужності не більш $\pm 3\%$.

2.7 Випробування на нагрів

Випробування на нагрів проводиться протягом години при номінальному режимі двигуна

$$P_{\text{д ном}} = \text{————— кВт};$$

$$I_{\text{д ном}} = \text{————— А};$$

$$U_{\text{к ном}} = \text{————— В};$$

$$n_{\text{д ном}} = \text{————— об/хв.}$$

Після години робота двигуна в указаному режимі він зупиняється при поступовому знятті навантаження. Вимикається його вентиляція.

Накладними термомпарами вимірюється перевищення температури частин машини (обмоток, колектора, підшипників над температурою навколишнього (вентиляційного) повітря. Дані замірів порівнюють з допустимими значеннями нагрівів, установленними для машин цього типу [1].

2.8 Перевірка комутації

Під час контрольних випробувань перевірку комутації тягової машини проводять для двох режимів її роботи:

1) при подвійному годинному струмі, номінальній напрузі на її ввіді та струмі збудження, який відповідає номінальній потужності;

2) при напрузі на її ввіді, що відповідає максимальній напрузі на струмоприймачі електрорухомого складу за ДЕСТ 6962-75, максимальній швидкості обертання, гарантованої заводом-виготовлювачем, та мінімальному струмі збудження, відповідному найбільш глибокому ослабленню поля, яке може бути допущено для машин даного типу.

Згідно з ДЕСТ 2582-66 комутацію машини вважають задовільною, якщо при випробуваннях не виникає колового вогню, залишкових деформацій або механічних пошкоджень колектора та щіткотримачів, і вони придатні для подальшої роботи без зачищення або якогось правлення.

При довготривалій роботі машин постійного струму зі всіма можливими навантаженнями, передбаченими робочою зоною їх характеристик, ступені їх іскріння не повинні перевищувати 1,5 бали (ДЕСТ 183-66), чому відповідає слабке точкове іскріння у половині всіх щіток.

При випробуваннях машин ступінь іскріння заздалегідь визначають безпосереднім візуальним спостереженням, і це може бути завжди достатньо точною оцінкою інтенсивності іскріння.

Для отримання об'єктивних та більш точних результатів комутаційних випробувань розроблені та виконані прилади-індикатори іскріння. Приймальний пристрій таких приладів приймає випромінювання комутаційного іскріння, яке залежить від його інтенсивності. У приладі ці сигнали перетворюються та підсилюються. Вольтметр приладу показує напругу, пропорційну інтенсивності іскріння.

3 КОЛЕКТОРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ЇХ ВИРОБНИЦТВО

3.1 Загальні відомості

Колектор — один з основних вузлів, яким обумовлене найбільше виконання тягових двигунів. Колектори у сучасних потужних тягових машинах знаходяться на межі використання матеріалів та технологічних можливостей.

Діаметри колекторів сучасних тягових двигунів знаходяться в межах 250... 1000 мм з кількістю пластин до 600 та більше. При окружних швидкостях до 60...65 м/с комутаційні частоти їх доходять до $13 \cdot 10^3 \dots 15 \cdot 10^3$ пластин за секунду.

Інтенсивна іонізація колекторної камери працюючої машини потребує посилення ізоляції колекторів та підвищення інтенсивності вентиляції їх поверхонь. Навіть при найбільш сприятливих конструкціях колекторів в експлуатації завжди можуть бути їх значні пошкодження. Для тягових двигунів постійного та пульсуючого струму найбільш небезпечним може бути дугоутворення на колекторі, для однофазних двигунів — ерозійний, нерівномірний знос унаслідок неповної компенсації трансформаторної ЕРС у період їх пуску.

Колектори тягових двигунів виконують майже завжди з абочинним кріпленням пластин у корпусі за допомогою виступів, які мають форму хвоста ластівки. Принцип такого кріплення показаний на рисунку 13.

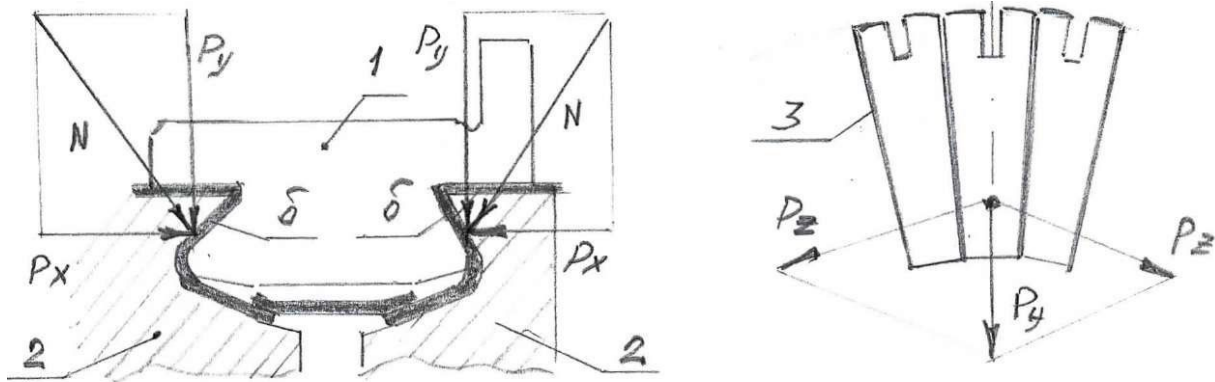


Рисунок 13 – Колектор арочного типу

Колекторні пластини 1 стягнуті конусами 2 через ізоляційні манжети. Зусилля затяжки P_x , діюче вздовж осі колектора, викликає сили P_y та сили N . Сили P_y діють у напрямку до центра кола колектора, затягуючи пластини у цьому напрямку.

Оскільки колекторні пластини в поперечному перерізі виконуються у формі клина, під зусиллям P_y , яке діє на них, на їх бокових поверхнях з'являються розпираючі зусилля P_x . Останні стискають міканітові прокладки 3 між пластинами 1 та зводять пластини в єдиний міцний вузол, елементи якого електрично ізолювані один від одного. Сили P_x називають силами арочного розпору. Сили P_y діють проти відцентрових сил та компенсують їх.

Слід указати на те, що останнім часом у практику виробництва тягових електромашин запроваджується спосіб кріплення колекторних пластин у колекторах пластмасовими корпусами. У такого колектора (рисунок 14) колекторні пластини 1 зв'язані пластмасовим корпусом 2 в загальний моноблок, а з метою підвищення міцності кріплення та розвантаження пластмаси від відцентрових сил передбачені армовані кільця Б. Кільце Б являє собою багаторядний бандаж 3 зі сталевого дроту, намотаного на сталевий каркас 4 та залитого пластмасою.

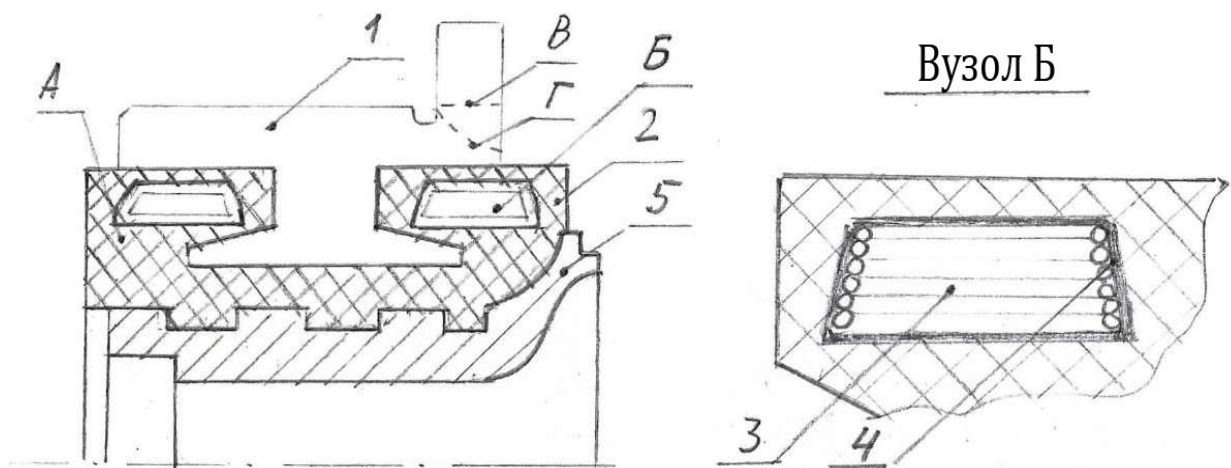


Рисунок 14 – Колектор з пластмасовим корпусом

Пластмасовий корпус являє собою одну деталь разом зі сталеву коробку Б, яка своєю маточиною насаджена з натягом на вал якоря. Поряд з простотою та стабільністю конструкції такий колектор дозволяє значно знизити його осьові розміри за рахунок використання замість переднього ізоляційного конуса торцевої поверхні корпусу А.

Слід відзначити, що внаслідок значних розходжень коефіцієнтів об'ємного теплового розширення у міді (пластині) та пластмасі (корпусу А) великі за діаметром колектори на пластмасі не використовують.

Для виготовлення колекторних пластин використовують холодноотягнуту електротехнічну мідь з механічними якостями: твердість за Брунелем – 75...85; межа міцності 28 кгс/мм², межа текучості та розтягання – 35 кгс/мм². У колекторну мідь додають присадки кадмію, срібла або алюмінію та інших металів. Ізоляція між колекторними пластинами виготовляється з колекторів міканіту з малим вмістом клеючих речовин КФ1, який має первинну усадку $\mu \leq 7\%$ при тиску більше 600 кгс/мм². Товщину міканітових прокладок приймають у межах 0,8...1,2 мм з відхиленням не більше 0,05 мм. Оскільки зносостійкість міканіту вища, ніж у міді, ізоляцію між пластинами фрезерують на глибину 0,8...1,2 мм (продоріжка колектора). Але продоріжка спричиняє нерівності на поверхні колектора, які ведуть до погіршення роботи щіток та можливості виникнення струмопровідних містків. Для уникнення цього інколи пази

продоріжки заповнюють спеціальною мастикою, зносостійкість якої після затверднення її рівна зносостійкості міді.

Найбільш трудомісткими у виробництві колекторів є міканітові манжети. Вони виготовляються суцільними або складеними з окремих секторів, які перекривають один одного, з використанням формового міканіту ФФ2А, ФМ2А. Маючи високу електричну міцність (30 кВ/мм), цей міканіт повинен витримувати тиск до 600... 750 кгс/см при осіданнях не більше 15 %.

Відкриту передню частину міканітового конуса закривають захисним покриттям з декількох шарів бавовняної або скляної стрічки, просочених та профарбованих лаком, що забезпечує гладку, блискучу поверхню конуса.

Корпус колектора (коробка або втулка та натискна шайба) виготовляється зі сталевого лиття таким чином, щоб він забезпечував щільну (бажано внутрішню) посадку натискної шайби в коробку. Останнє необхідно, щоб запобігти проникненню вологи під колекторні пластини. Натискну шайбу з коробками скріплюють найчастіше стяжними болтами, які також виконують роль пружних компенсаторів теплового подовження пластин. Найчастіше для колекторних болтів використовують вуглецеву сталь підвищеної міцності з термообробкою або леговану сталь. При складанні колекторів повинні передбачатися спеціальні заходи, які забезпечують рівномірне затягування болтів (тарованими по моменту ключами).

Точність та стабільність робочої поверхні колектора повинні бути дуже високими. Причому чим вища швидкість руху поверхні колектора, тим менше допускається їх відхилення від ідеалу. Наприклад, при $V_{\text{ком}} = 30 \text{ м/с}$ відхилення 0,1..0,12 мм; при $V_{\text{ком}} = 55 \dots 60 \text{ м/с}$ – 0,025... 0,035 мм.

Для забезпечення стабільності форми колектора при його виготовленні необхідний підбір пластин за твердістю або правка їх твердості накатуванням, а також використання процесів штучного старіння. Цей процес полягає в повторних циклах нагрівання, розносу при швидкості обертання $n_{\text{випр}}$, послідовних обпресувань та підтягувань болтів. Указані технологічні цикли повинні проводитися до тих пір, поки залишкові деформації колектора після двох послідовних циклів не стануть практично невідчутними.

3.2 Виготовлення колекторних пластин та міканітових прокладок до них

Пластини виготовляються з мідно-кадмієвої штаби, яка замовляється у її виробника під розміри колектора машини, яка готується до серійного випуску. Основні розміри штаби: кут поперечного перерізу, ширина штаби та її товщина по більшій основі трапеції перерізу. Виготовлювач штаби повинен також виконати всі металографічні параметри, встановлені замовником.

Колекторні пластини висікаються (штампуються) на штампувальних автоматах. Якість відштампованої пластини передбачає відсутність нерівності її площини, задирок, корозійних плям, забруднень. Розміри пластини по всій її конфігурації повинні мати припуски на остаточну обробку колектора.

Відштамповані пластини проходять знежирення в підігрітій лужній ванні, після чого їх промивають чистою водою та сушать. Чисті сухі пластини проходять операцію покриття півників розчином крейди в 10 %-му водному розчині рідкого скла. Операція механізована за допомогою підвісного ланцюгового конвеєра, який обладнано висячими пружинними затискачами. На ці затискачі чіпляються пластини півниками донизу. Конвеєр рухається повз ванни з розчином крейди та через сушильну піч. У зоні ванни конвеєр знижується на відстань ширини півника, і пластини півником занурюються в розчин крейди. У зоні виходу півника з ванни конвеєр підіймається, витягує пластину з ванни і несе її далі через сушильну піч. На виході з печі пластини відчіпляються від конвеєра і накопичуються в збірнику перед операцією фрезерування півника.

Фрезерування півника ведеться дисковою фрезою таким чином, щоб ширина фрезерованої доріжки була на 0,3...0,5 мм більше товщини штаби міді, з якої виготовляються секції обмотки якоря. Фрезерування пластин здійснюється окремо для з'єднання їх тільки з кінцем секції обмотки якоря (глибина канавки до рівня робочої поверхні пластини – рівень В) та для з'єднання з кінцем секції обмотки якоря і вирівнювальної обмотки (рівень Г). Фрезеровані пластини підвищуються знову до ланцюгового підвісного конвеєра донизу півниками, який несе

їх спочатку до ванни з травленою кислотою для травлення поверхонь фрезерованих канавок, а потім до ванни з розплавленим припоєм олов'яно-свінцевим (ПОС). Над ваннами конвеєр знижується на відстань ширини півника, і зануривши в кислоту, травить його, а потім у розплавлений ПОС – лудить стінки канавок. Час знаходження півника пластини в розплаві ПОС достатній для нагрівання пластини до температури розплаву. Цей час залежить від довжини ванни з ПОС та швидкості руху конвеєра і регулюється зміною цієї швидкості.

Висока температура півникової зони пластини, чиста та протравлена поверхня канавок забезпечують якісне покриття полудою цих поверхонь та відсутність накопичування олова в канавках. Пластини після полуди охолоджуються спрямованим потоком повітря, знімаються з конвеєра та накопичуються на ділянці складання колектора.

Міканітові прокладки для колектора висікаються на штампувальних автоматах з листів колекторного міканіту товщиною 1...1,5 мм. Конфігурація та розміри міканітової прокладки повинні повторювати конфігурацію та профільні розміри колекторної пластини. Технологія складання колектора потребує лише збільшення на 1,0... 1,5 мм висоти прокладки у формі хвоста ластівки.

3.3 Складання колектора

Для складання колектора використовується пристосування – стенд, який складається з основи – диска із зовнішнім розміром, рівним діаметру колектора по півниковій зоні. Диск має центральний отвір з діаметром, рівним $D_k - 2H_p$ (рисунок 15). По робочій поверхні диска 1 (зверху) на діаметрі $D_k - 2h_2$ виконаний кільцевий упор 5 висотою 5 мм.

Радіально від цього кільцевого упору по робочій поверхні диска до його зовнішнього обрису фрезеровані канавки розміром 1,5x1,5 мм. У ці канавки, як показано на рисунку 15, вставляються впритул до кільцевого упору міканітові прокладки.

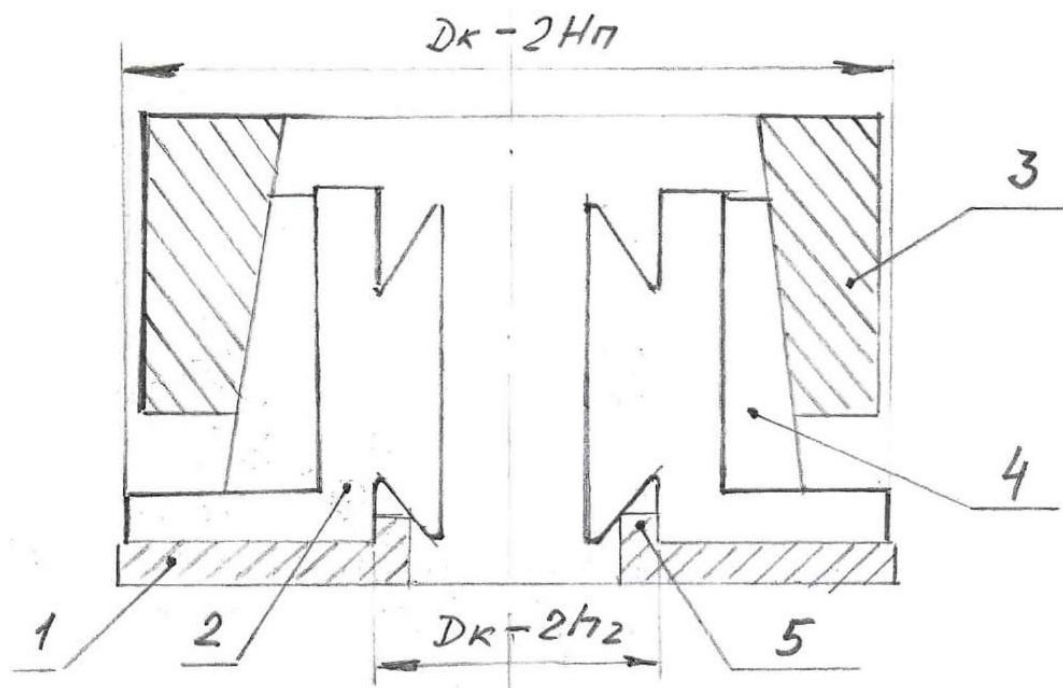


Рисунок 15 – Стенд для складання колектора

Кількість фрезерованих канавок дорівнює розрахунковій кількості колекторних пластин. Тому, якщо в усі канавки диска поставити міканітові прокладки, а між ними – колекторні пластини 2, на диску стенда буде знаходитись повний набір колектора. Для формування цього набору в колектор на диск стенда з набором пластин навколо пластин встановлюється набір клинів 4 гострими кутами вгору. Кут клина не перебільшує максимальний кут із самогальмуванням.

Комплект клинів, зібраний навколо набору колектора, являє собою розрізане кільце, внутрішній отвір якого циліндричний і охоплює циліндричне тіло майбутнього колектора. Зовнішня складова кільця виконана конусною. Профіль клинів виконаний у вигляді паралелограма, тому розташовані навколо клини налягають своїми внутрішніми поверхнями одноразово на одні і ті ж пластини, забезпечуючи їх рівномірне обтиснення (рисунок 16).

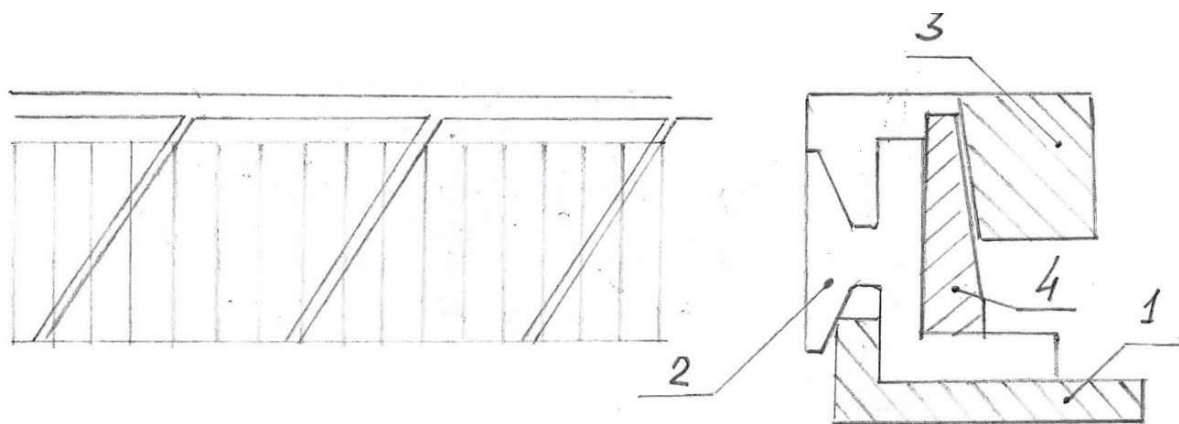


Рисунок 16 – Пристосування для обтиснення колекторних пластин

Для обтиснення набору колектора зверху на комплект клинів надівається потужне опресовувальне кільце 3. Внутрішня розточка кільця конусна з кутом конуса, рівним подвійному куту 2 клина. Тому кільце щільно облягає комплект клинів та при його переміщенні до низу комплекту пластин, на косих поверхнях клинів та розточці кільця з'являється радіальне зусилля P_y , яке розкладається на сили P_x , нормальні до складової бокової поверхні пластини (рисунок 15). Цими силами набір колектора ущільнюється та робиться єдиною конструкційною деталлю, спроможною витримати будь-які зусилля, які діють на колектор під час його роботи.

Для ущільнення комплекту (набору) колектора він разом з клинами та опресовувальним кільцем подається до нагрівальної печі, де нагрівається до необхідної температури. Максимальне значення температури нагрівання визначається станом колекторного міканіту.

Після нагрівання комплект пластин з клинами та опресувальним кільцем подається на гідравлічний прес і пресується зусиллям $P_{зп}$, кг·с, яке можна визначити як рівне або вище

$$P_{зп} \geq (1,4 \dots 1,5) \sum Cx \approx \pi \cdot D_k \cdot l_{нк} \cdot P_0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha + f),$$

де $f \approx 0,12 \dots 0,17$ – коефіцієнт тертя;

$P_0 = 300 \text{ кгс/см}^2$ – нормальний тиск запресування на ізоляційний конус;

D_k – діаметр колектора;

$l_{нк}$ – довжина похилої складової пластини у формі хвоста ластівки.

У залежності від діаметра колектора він нагрівається та пресується двічі або тричі. Після останнього обтискування комплект пластини-клини з опресовувальним кільцем охолоджується і подається на токарно-фрезерувальний верстат, де розточується його базова поверхня $D = D_k - 2H_n$ на повну довжину колектора у формі хвоста ластівки. Після цього комплект установлюється розточкою на спеціальну оправку верстата, кріпиться нерухомо і фрезерується по похилих поверхнях конуса у формі хвоста ластівки.

Одночасно зі складанням та обробкою колектора або заздалегідь у механічному цеху обробляються корпус колектора, коробка або втулка та натискна шайба, відлиті зі сталі. В ізоляційному відділенні виготовляються міканітові манжети – конусні прокладки, які ізолюють колектор від його корпусу та натискної шайби.

Для виготовлення міканітової манжети в ізоляційному відділенні використовують сталеві шаблони, які за конфігурацією та розмірами повторюють конуси коробки чи натискної шайби корпусу колектора. У комплекті до цих шаблонів додаються їх кришки, які точно (у дзеркальному відображенні) копіюють конфігурацію та розмір шаблонів. Маса сталевих шаблонів та їх кришок достатньо великі, що забезпечує тривале утримання ними теплоти, отриманої від нагрівання в нагрівальній печі, для формування манжети, оскільки міканіт ФФ2А або ФМ2А має високу жорсткість, його не можна використовувати в кінцевій товщині (1,0...2,0 мм) листа для формування манжети. Тому манжету викладають на шаблоні з окремих тонких (0,1...0,25 мм) листків міканіту розміром до 50x50 мм. Міканітові листки, покладені з перекриттям один одного, скріплюються згущеним термореактивним лаком. По мірі викладання на шаблоні повної поверхні манжети товщиною близько 50 % від проектної її товщини шаблон з цим шаром манжети накривається кришкою, яка притискується до шаблону, і в такому стані останній подається в піч для нагрівання.

До досягнення необхідної температури комплект витримується в печі, після чого виймається з печі і охолоджується. З нього знімається кришка, манжета доклеюється до повної товщини і знову закрита й притиснута кришкою подається в піч. Після нагрівання, витримки, охолодження та виймання з форми, манжета зачищається, обрізається до необхідних розмірів і подається на складання колектора.

На колектор, остаточно при нагріваннях обтиснутий клинами та опресовувальним кільцем з двох його боків, накладається коробка та натискна шайба, покриті ізоляційними манжетами. Між ними в циліндричну розточку колектора закладається ціла (нерозрізана) циліндрична міканітова прокладка. Коробка та натискна шайба стягуються стяжними болтами. Перед постановкою корпусу в колектор він виставляється відносно пластини колектора по знаку на його торці, який визначається в механічному цеху при виготовленні в осьовому отворі його маточини шпонкової канавки.

При постановці на загальну шпонку вала осердя якоря та колектора симетрично суміщають пази якоря з групами пластин колектора, на які виходять провідники котушок якірної обмотки.

При затягуванні стяжних болтів колектора повинні бути передбачені спеціальні заходи, які забезпечують рівномірне їх затягування. До цих заходів відносяться використання динамометричних ключів та підтягування болтів за схемами, що передбачають сувору черговість її за болтами (наприклад для колектора з вісьма стяжними болтами: 1-5-3-7-2-6-4-8).

Після повного обтягування колектора стяжними болтами, опресовувальне кільце спресовується з нього та знімаються клини. Колектор ставиться на технологічний вал та проходить статичне балансування. Балансувальні вантажі встановлюються з боку коробки корпусу.

Статичне балансування є завершальною операцією формування та виготовлення колектора.

4 БАЛАНСУВАННЯ ЯКОРЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

4.1 Загальні відомості

Сучасні способи врівноважування частин машин, що обертаються, складаються зі статичного та динамічного їх балансування. Статичне балансування має своєю практичною метою перевірку відхилення центра ваги частин, які обертаються, від осі їх обертання. Статичне балансування тільки в незначній мірі забезпечує динамічну рівновагу частин машини.

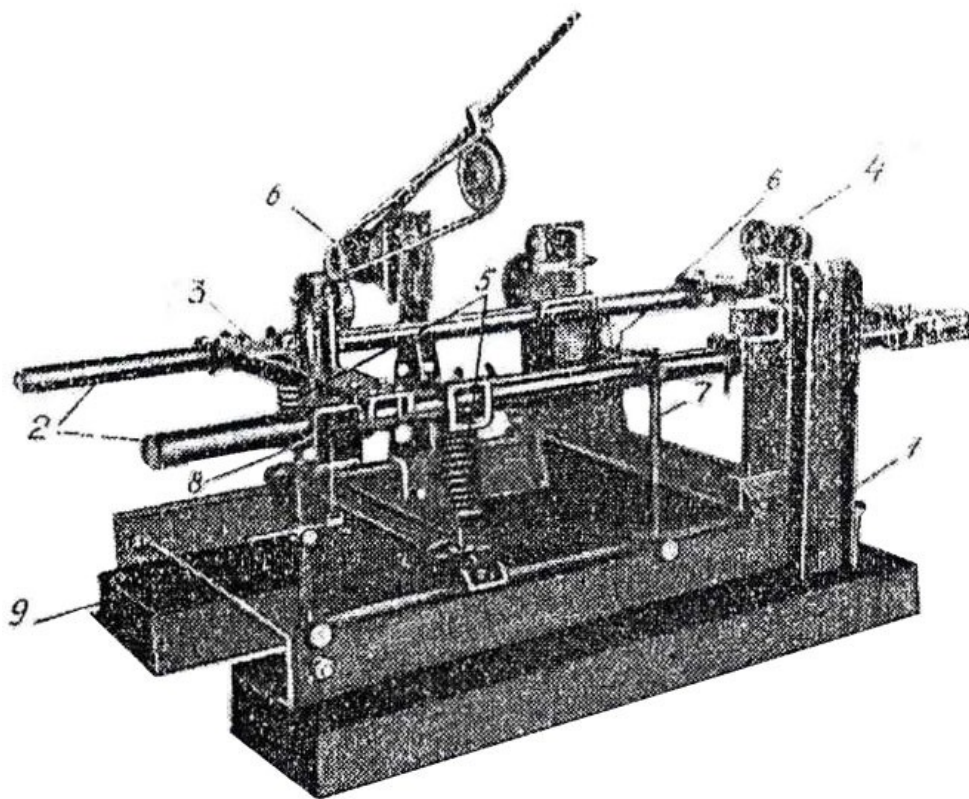
Навіть ретельне статичне балансування окремих частин машин не забезпечує їх повної динамічної рівноваги внаслідок ряду причин, наприклад, деформацій, відхилення від креслень у межах допусків, неоднорідності матеріалу та ін. Останнє призводить до неврівноваженості відцентрових сил інерції частини, яка обертається. Ці сили часто бувають настільки значними, що навіть можуть призвести до її руйнування. Відвернути появу таких сил практично буває дуже складно, тому необхідно запобігти дії цих сил. Це має бути виконано шляхом штучного створення в частині машини, що обертається, додаткових відцентрових сил інерції, дія яких була б рівна і рівнопротилежна дії неурівноважених відцентрових сил.

Визначення величин та напрямку дії цих сил, знищення динамічної неврівноваженості частин машин виконується шляхом динамічного балансування.

Статичне балансування окремих частин машини виконується з допомогою спеціальних балансувальних паралелей, на роликах або в центрах токарного верстата. Процес статичного балансування полягає в такому: деталі, яка підлягає балансуванню, надається можливість вільно котитися по балансувальних паралелях (розташованих точно в горизонтальній площині) або котитися по роликах чи обертатися в центрах токарного верстата. При цьому відмічають, у якому положенні деталь зупиняється. Якщо деталь неодноразово зупиняється в одному і тому ж положенні – це показує на те, що вона явно не врівноважена. Для врівноваження деталі необхідно підібрати такий вантаж та встановити його на деталі так, щоб він не виходив за її габарити і щоб деталь у будь-якому положенні не могла котитися чи обертатися. Якщо це явище у деталі спостерігається, діють так: у протилежній від нижньої точки

зупинки неврівноваженої деталі на вертикалі, яка проходить через геометричний її центр, установлюють вантаж, підібраний експериментально і який повинен врівноважувати деталь так, як було сказано вище. Звичайно як тимчасовий вантаж використовують пластилін. Після того, як знайдена необхідна противага з пластиліну, його замінюють відповідним шматком металу, який приварюють або закріплюють заклепками. Часто замість додавання металу виконують зменшення маси деталі в районі нижньої точки її зупинки. Таке зменшення маси повинно бути рівним масі експериментально визначених вантажів.

Як уже було показано раніше, статичне балансування не забезпечує динамічної рівноваги частин машини. Тому найбільш відповідальні частини машин, які обертаються під час їх роботи, піддають динамічному балансуванню. Останнє здійснюється на верстатах типу 15 ВЛ (рисунок 17) або подібних до них.



- 1 – вертикальні стояки; 2 – сталеві труби маятникової рами;
- 3 – траверса маятникової рами; 4 – роликові опори;
- 5 – спіральні пружини; 6 – електродвигун; 7 – індикаторний стояк; 8 – закопчене скло; 9 – рама

Рисунок 17 – Верстат для динамічного збалансування якоря тягового електродвигуна

4.2 Улаштування верстата для динамічного балансування

Принципово кожний верстат для балансування деталей, які обертаються, має маятникову раму, яка складається з двох паралельних тонкостінних труб 2 (рисунок 17), об'єднаних між собою двома траверсами 3. З'єднання траверс з трубами досягається за допомогою спеціальних відкидних затискачів, які дозволяють установлювати траверси на будь-якій відстані одна від одної. Одним своїм кінцем рама підвішена до стояків станини верстата за допомогою навхрест розташованих сталевих пластин, які дозволяють рамі легко обертатися навколо своєї осі у вертикальній площині та утримуватися від повздовжніх та вертикальних переміщень. Другим кінцем маятникова рама опирається на дві спіральні пружини 5. Конструкція верстата дозволяє встановлювати ці пружини на різних відстанях від осі обертання маяткової рами і таким чином змінювати період її вільних коливань. Для уникнення пошкоджень при установленні деталей на верстат пристрій має гальмо, яке гальмує маятникову раму. Для вимірювання амплітуди коливань маяткової рами на станині верстата встановлений самописець та індикаторна головка часового типу. Остання виконує роль вимірника малих амплітуд.

Для встановлення на верстаті деталей, які балансуються, передбачені роликові опори 4, які змонтовані на траверсах. Для розгону деталі, що балансується, до необхідних обертів найчастіше використовують клинопасову передачу від двигуна 6.

Верстати встановлюються на фундаментах за рівнем.

4.3 Технологія балансування якоря тягового електродвигуна

Динамічне балансування складається з трьох етапів: підготовка та встановлення якоря на верстат, визначення місця розташування та величини противаги, підрахунок залишкового дисбалансу.

Підготовка та встановлення якоря тягового двигуна на верстат починається з того, що з нього знімаються внутрішні кільця роликотидшипників, які ретельно очищаються серветками та продуваються стисненим повітрям, кінці вала обтираються сухою та чистою серветкою.

До постановки якоря на верстат маятникова рама загальмовується. Потім якір піднімають краном та встановлюють на рамкові опори 4 (рисунок 17) траверси маяткової рами так, щоб вертикальна площина АБ (схема 1, рисунок 18), яка проходить через середину заднього бандажу, збіглася з віссю обертання маяткової рами. При цьому переконуються у відсутності зазора між валом якоря та рамковими опорами.

Після такого встановлення якоря на верстат, гальмо маяткової рами відпускається, а спеціальним пристроєм на циліндричних пружинах-опорах маяткової рами – гвинтовим підйомником з маховичком, рама 3 якіром встановлюється точно в горизонтальне положення.

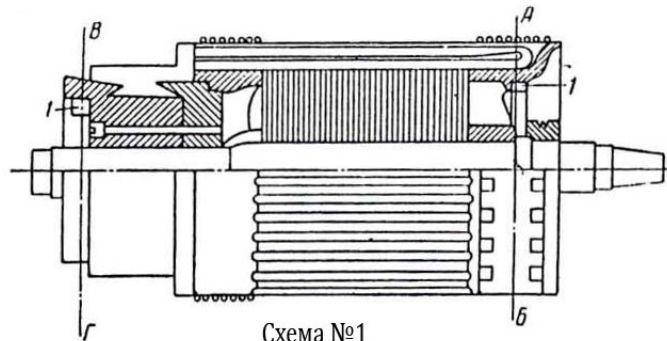


Схема №1

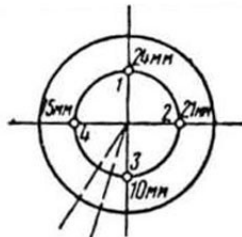


Схема №2

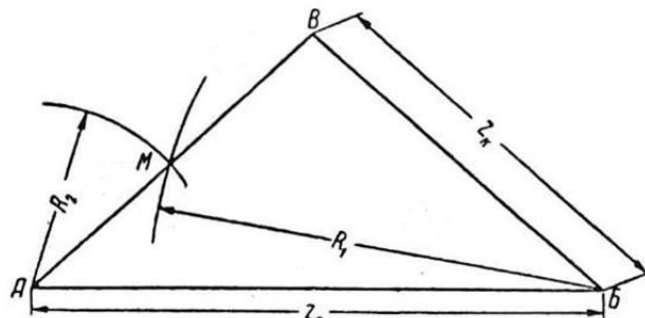


Схема №3

1 – місце для кріплення мастики та противаги
Рисунок 18 – Схема динамічного збалансування якоря тягового електродвигуна

Для визначення місця постановки противаги якір розганяють пристосуванням для розгону до 200...300 об/хв. Для усунення побічних коливань, які з'являються при розгоні якоря, якір злегка загальмовується до усунення коливань, а потім гальмо відпускається до упору.

Після 5...10 с вільного обертання якоря за допомогою пристрою 8 записують амплітуди коливань маятникової рами. Найбільшу з них заміряють після зупинки якоря. Після цього на гірці колекторної коробки наносяться крейдою чотири позначки через 90° одна від одної, як показано на схемі 2 (рисунок 18). Проти однієї із зазначених позначок прикріплюється врівноважувальний вантаж, величина якого береться вільно. Як цей вантаж використовується пластилін. Якір знову розганяється, як було описано раніше, і знову записуються пристроєм 8 амплітуди коливань рами, з яких заміряють найбільшу.

Після цього виконуються послідовно операції, зазначені вище відповідно для чотирьох положень противаг, тобто кожного разу переставляючи врівноважувальний вантаж (пластилін) на місце проти кожної нанесеної позначки на торці колекторної коробки. При цьому записуються величини максимальних амплітуд проти відповідного положення противаги, наприклад:

Амплітуда коливання навпроти

першої позначки.....24 мм;
другої позначки.....21 мм;
третьої позначки.....10 мм;
четвертої позначки.....15 мм.

Дійсне положення противаги знаходиться між двома позначками, для яких було зафіксовано найменші амплітуди. Для наведеного вище прикладу дійсне положення противаги має знаходитися десь між третьою та четвертою позначками.

При отриманні двох позначок з однаковими амплітудами дійсне положення противаги знаходиться на половині відстані між цими позначками.

Для знаходження дійсного положення противаги між виявленими позначками врівноважувальний вантаж переміщується між ними до тих пір, поки амплітуда коливання маятникової рами не стане найменшою.

Подальше зменшення амплітуди коливань виконується за рахунок зменшення чи збільшення ваги врівноважувального вантажу. Це має виконуватися до тих пір, поки амплітуда коливань не почне зростати. Після цього врівноважувальний вантаж (пластилін), який спричинив мінімальну амплітуду, точно зважують та відмічають місце його положення на торці колекторної коробки.

Після всіх описаних вище дій маятникова рама загальмовується, якір піднімається, розвертається на 180° у горизонтальній площині та знову встановлюється на раму, але вже так, щоб вертикальна площина В1 (схема 1, рисунок 18), яка проходить через місце розташування противаги, збіглася з віссю обертання маятникової рами. Потім проводяться послідовно всі операції, викладені вище. Для врівноважування звичайно використовуються металеві пластини або трапецеїдальні вантажі, встановлені та переміщувані в спеціальні канавки трапецеїдального перерізу, які розточуються в тілах натискного конуса колектора та задньої натискної шайби якоря. Металеві пластини у визначених місцях приварюються електрозварюванням, а вставки-вантажі розклинюються болтами в трапецеїдальних канавках. Металеві пластини або вставки - вантажі вагою повинні бути рівними вазі знайдених врівноважувальних вантажів.

Залишковий дисбаланс визначається графічним способом, для чого будується розрахунковий трикутник (схема 3, рисунок 18).

Для побудови розрахункового трикутника необхідно:

1) відкласти відрізок АБ, рівний значенню амплітуди коливання рами з якорем без врівноважувального вантажу;

2) з точки Б провести дугу радіусом R_1 , рівним половині значення амплітуди коливання рами з якорем при врівноважувальному вантажі, закріпленому проти однієї з позначок, де амплітуда коливань найбільша;

3) з точки А провести другу дугу радіусом R_2 , рівним половині значення амплітуди коливання при врівноважувальному

вантажі, закріпленому проти другої позначки, де амплітуда коливань менша, ніж амплітуди, визначені для двох останніх позначок. Точка перетину цієї дуги з дугою, проведеною радіусом R_1 позначається літерою М;

4) з точки А через точку М проводиться пряма;

5) з точки Б радіусом R_3 , рівним амплітуді коливання якоря на маятниковій рамі з початковим урівноважувальним вантажем, виконується дуга до перетину з прямою АМ.

Залишковий дисбаланс $D_{\text{зал}}$, г·см, підраховується за формулою

$$D_{\text{зал}} = K \cdot Z_{\text{зал}},$$

де K – масштаб дисбалансу;

$Z_{\text{зал}}$ – залишкова амплітуда коливань.

Масштаб дисбалансу визначається за формулою, г·см/мм,

$$K = \frac{Q \cdot R_k}{Z_k},$$

де Q – вага початкового врівноважувального вантажу, г;

R_k – відстань від центра ваги урівноважувального вантажу до осі обертання балансованої деталі, см,

Z_k – амплітуда коливання маяткової рами з початковим урівноважувальним вантажем (відрізок БВ, схема 3, рисунок 18), мм.

Залишковий дисбаланс згідно з вимогами до тягових електродвигунів має бути не більше 100... 150 г·см.

4.3.1 Приклад розрахунку залишкового дисбалансу якоря ТЕД

Розраховується залишковий дисбаланс якоря тягового електродвигуна $D_{\text{ост}}$ в площині середини заднього бандажу на основі даних прикладу визначення та фіксації величин амплітуд для чотирьох положень противаг.

1 Амплітуда коливання маяткової рами без врівноважувального вантажу $Z_0 = 15$ мм.

2 Амплітуда коливання маяткової рами при врівноважувальному вантажі проти третьої позначки – 10 мм.

Відстань від центра ваги врівноважувального вантажу до осі обертання балансованого якоря R_1

$$R_1 = 10/2 = 5 \text{ мм.}$$

3 Те ж проти першої позначки – 24 мм

$$R_2 = 24/2 = 12 \text{ мм.}$$

4 Вага первісного врівноважувального вантажу

$$Q = 50 \text{ г.}$$

5 Відстань від центра ваги врівноважувального вантажу до осі обертання якоря

$$R_k = 13 \text{ мм.}$$

6 Залишкова амплітуда коливання

$$Z_{\text{зал}} = 2 \text{ мм.}$$

Розв'язання

1 Будується трикутник АБВ (схема 3, рисунок 18), з якого визначається відрізок БВ.

Для побудови трикутника як його основа відкладається відрізок, рівний Z_0 (рисунок 18). З точки А радіусом R_2 проводиться засічка-дуга, а потім з точки Б – засічка-дуга радіусом R_1 . Точку перетину дуг-засічок позначають літерою М. Точка А з'єднується з точкою М прямою, яка продовжується за неї на відстань АМ. Кінець цієї прямої позначається літерою В. Якщо з'єднати точку В з точкою Б, то відрізок БВ має бути рівним амплітуді коливань маятникової рами з первісним урівноважувальним вантажем. Цей відрізок для нашого випадку рівний 10,3 мм.

2 Масштаб дисбалансу

$$K = \frac{50 \cdot R_k}{10,3} \approx 63 \text{ Г} \cdot \text{см/мм.}$$

3 Залишковий дисбаланс

$$D_{\text{зал}} = 63 \cdot 2 = 126 \text{ Г} \cdot \text{см.}$$

Залишковий дисбаланс, рівний для нашого прикладу $126 \text{ г} \cdot \text{см}$, відповідає допустимому його розміру. Тому балансування якоря в площині середини заднього балансу (випадок для прикладу) припиняється.

Визначення величини залишкового дисбалансу в площині ВГ (схема 1, рисунок 18) проводиться після повороту якоря на 180° .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Захарченко Д.Д., Романов Н.А. Подвижной состав электрических железных дорог. Тяговые электрические машины и трансформаторы. – М.: Транспорт, 1968.

2 Комолов В.Г., Файб С.И., Алексеев А.В. Ремонт электрических машин. – М.: Транспорт, 1975.

3 Электротехнический справочник: В 3т. Т. 2. Э 45 Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. И.Н. Орлова. – 7-е изд., испр. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

4 Магистральные электровозы. Технологические основы производства / Под ред. В.И. Бочарова, А.А. Сурикова. – М.: Машиностроение, 1992.

5 Антонов М.В., Герасимова Л.С. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

6 Кобозев В.Н. Технологические основы конструирования и производства электрического подвижного состава железнодорожного транспорта. – М.: Высш. шк., 1978.

7 Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.