

УДК 656.2.358

*Володимир Данилевський  
Лариса Сливовська*

**КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН  
ТЯГОВОГО І МОТОРВАГОННОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО  
СКЛАДУ**

*У статті проведений аналіз технічного стану тягових електричних машин електрорухомого складу, визначені основні напрямки їх модернізації, а також ризики які виникають в процесі модернізації, на прикладі тягового двигуна ТЛ-2К електровозів постійного струму.*

*В статье проведен анализ технического состояния тяговых электрических машин электроподвижного состава, определены основные направления их модернизации, а также риски, которые могут возникать в процессе модернизации на примере тягового двигателя ТЛ-2К электровозов постоянного тока.*

*The article analyzed the technical condition of traction electrical machines Elektropodvizhnoy, identified key areas of modernization, and the risks that arise in the process of modernization on the example of the traction motor TL-2K electric DC.*

**Ключові слова:** тягові двигуни, електровози, електричне поле, індукція, ризики, лінійне електричне навантаження, стандарти, осердя, повітряний проміжок, головні полюси.

**Вступ**

На магістральних коліях залізничного транспорту експлуатується тяговий і моторвагонний рухомий склад з електричною передачею:

- електровози постійного та змінного струмів;
- електровози подвійного живлення;
- тепловози;
- електропотяги;
  
- дизель потяги.

Тягову силу рухомого складу створюють тягові агрегати, які складються із тягових двигунів, колісних пар і передавального пристрою. Основою тягового агрегата є тяговий двигун, від надійної роботи якого залежить робота в цілому рухомого складу. Більшість тягових двигунів виготовлені в 1956-1990 роках минулого століття і за період експлуатації пройшли низку модернізацій та удосконалень конструкції. За останній час промисловість України, країн ЄС, Росії,

© Данилевський В. І., Сливовська Л. В., 2011

Китаю та США винайшли цілу низку нових конструкційних, електротехнічних та електроізоляційних матеріалів з класом нагрівостійкості Н і С, що дає можливість збільшити потужність і експлуатаційну надійність тягових двигунів і відповідно зменшити позапланові ремонти рухомого складу.

### 2. Вимоги до тягових двигунів

Відповідно до вимог ГОСТ 183-74 тягові двигуни працюють в режимі S1 при якому всі його частини досягають сталих значень своїх перегрівів. Номінальні дані двигуна (потужність, напруга, струм навантаження та частота обертання) даються в режимі S1.

Тяговий двигун отримує живлення від контактної мережі, тому за номінальну слід брати потужність часового режиму. Тягові двигуни належать до габариту 1 «б», тому відношення потужностей часового і тривалого режимів приймають 0,85-0,92. При конструюванні враховують той факт, що відповідно до вимог ГОСТ 2582-81 – «Машини електричні обертові тягові. Загальні технічні умови», тягові двигуни є двигунами граничного виконання, зокрема, через їхнє розміщення на візку електровоза, системи упору, схеми живлення, динамічні навантаження та атмосфери, в яких вони працюють. На електровозах постійного струму тягові двигуни з'єднані попарно-послідовно з неоптимальною для них напругою на колекторі 1500 В, що визначає рівень напруги, на яку має бути розрахована електрична ізоляція.

Згідно з ГОСТ 2582-81 тягові двигуни мають два номінальні режими роботи: часовий (короткотривалий) і тривалий, які відрізняються за потужністю на 7...9 %. Номінальні частоти обертання  $n_{ном}$  становлять 700...900 хв<sup>-1</sup>, а максимальні  $n_{max}$  досягають 1900...2000 хв<sup>-1</sup>. Таким чином, швидкісний діапазон регулювання, що визначається коефіцієнтом  $k = n_{max} / n_{ном} = 2,1...2,8$ , дуже широкий. Ця обставина істотно впливає на збільшення габаритів і маси тягових двигунів.

Усі тягові двигуни працюють в умовах експлуатації, що відрізняються значною кількістю збурень і нестабільності, які до того ж мають широкі межі відхилень. Двигуни піддаються впливу зовнішніх динамічних сил, що виникають у процесі взаємодії ходової частини локомотива з рейками. Ці сили мають імпульсний характер, і їх рівень  $P_d$  оцінюється добутком динамічного прискорення  $a_g$  і маси  $t$ , що піддається дії сил, тобто  $P_d = G \times a_g$ , де  $G$  – маса,  $a_g$  – прискорення вільного падіння.

Важливо відмітити, що при опорно-осьовому підвішуванні  $a_g = 10...15$ , а при швидкостях руху вище 100 км/год відношення може досягти навіть значення 20...25. Означені динамічні дії впливають не тільки на окремі частини двигунів, але й на щітково-колекторний вузол, перешкоджаючи його нормальній роботі.

Повітря, яким охолоджуються тягові двигуни, надходить у вентиляційну систему через жалюзі кузова і з огляду на специфіку роботи локомотива містить пил, часто з металевими частками. Цей пил, осідаючи всередині двигуна, не лише погіршує тепловіддачу, але й призводить до перекирвання високою напругою на запиленій поверхні. Як показує досвід, концентрація пилу може досягати 30 мг/м<sup>3</sup>, а при хуртовинах може міститися 20...25 г/м<sup>3</sup> снігу, причому уникнути таких забруднень неможливо.

Тягові двигуни практично безперервно працюють в граничних режимах, викликаних коливанням напруг у контактній мережі та змінами струмів, що споживаються, причому останні варіюють від  $0,25/n_{ном}$  до  $2/n_{ном}$ , що призводить до ще більших коливань втрат потужності. Зміна напруг у контактних мережах постійного струму становить відповідно 2200...4000 В. Усі ці фактори створюють особливі вимоги до електричної та механічної міцності вузлів тягових двигунів. Ізоляція їх обмоток відносно корпусу

повинна витримувати випробну напругу  $U=(2,25U +2000)$  В для двигунів, що отримують живлення від контактної мережі постійного струму,  $U$  дорівнює напрузі холостого ходу на колекторі двигуна. Механічна міцність перевіряється розгоном двигуна при холостому ході протягом 2 хв. до частоти обертання, що на 25 або 35 % перевищує максимальну частоту обертання.

При виготовленні й експлуатації будь-яких електричних машин у зв'язку з наявністю системи допусків на виготовлення деталей і вузлів, а також їх різним зносом неминуча розбіжність електромеханічних і механічних характеристик. ГОСТ 2582-81 допускає розбіжність швидкісних характеристик у точці номінального режиму, а це призводить до відповідної розбіжності струмів навантаження різних тягових двигунів, що працюють на одному локомотиві.

У двигунів з більшим струмом навантаження будуть більші витрати енергії, вища температура обмоток і, як наслідок, менший термін їх роботи.

Конструкція двигунів повинна задовольняти вимогам безпеки руху поїзда і, разом з тим, бути досить простою, щоб тягова машина була ремонтпридатною.

Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості двигунів чинять їх магнітні характеристики, тобто залежність магнітного потоку  $\Phi$  від магніторушійної сили (МРС) збудження  $F$ . Оскільки, як відомо,  $E = C_e \omega \Phi$ , де  $E$  – електрорушійна сила (ЕРС);  $C_e$  – стала;  $\omega$  – частота обертання, то  $E/\omega = c_e \Phi$ . Отже, магнітна характеристика може бути подана як  $E=\omega(F)$ , а її вид визначається ступенем насичення або коефіцієнтом насичення  $k_{нс}$ , який є відношенням відносного спаду магнітного потенціалу в усьому магнітному колі  $F_{ном}$  до відносного спаду магнітного потенціалу в повітряному проміжку  $F$ . Тобто чим вище значення  $k_{нс}$ , тим менші габарити й маса двигуна, але разом з тим, гірші його регульовальні властивості. Звичайно, щоб задовольнити ці суперечні вимоги, приймають  $k_{нс} = 1,6.. 2,0$ . При менших значеннях машина буде слабо-, а при більших – сильно насичена.

Економічність роботи тягових двигунів визначає їх ККД, який, у свою чергу, залежить від струмового й магнітного навантажень. Характеристикою цих навантажень є відповідно лінійне навантаження  $A$  і щільність струму в обмотці якоря, а також індукція  $B$  в повітряному проміжку. Чим вищі ці величини, тим менші розміри й маса двигуна, але нижчий і його ККД.

У тягових двигунах електровозів лінійні навантаження приблизно становлять  $A = (400...500)10^2$  А/м, щільності струму в обмотках якорів  $j = 6...8$  А/мм, а індукції в повітряному проміжку  $B = 0,95.. 1,0$  Тл.

Добуток  $Aj$ , що називається тепловим фактором, характеризує струмове навантаження і визначається допустимою температурою для даного класу ізоляції.

### 3. Конструкція тягового двигуна

Тяговий двигун (на прикладі тягового двигуна ТЛ-2К) складається з остова (рис. 1), якоря 6, щіткового апарата 2 і підшипникових щитів 1, 4.

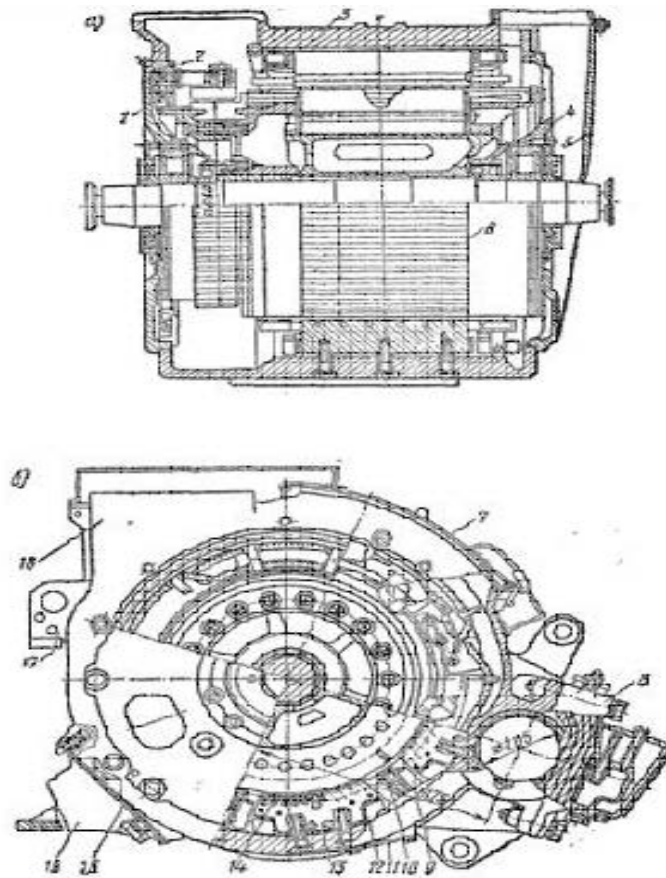


Рис. 1

Остов двигуна являє собою відливок зі сталі марки 25Л-2 циліндричної форми й служить одночасно магнітопроводом. До нього прикріплені шість головних і шість додаткових полюсів, поворотна траверса із шістьма щіткотримачами й щити з роликівими підшипниками, у яких обертається якорь двигуна.

Кришка 7 верхнього колекторного люка (рис. 1) укріплена на остові спеціальним пружинним замком, кришка 15 нижнього люка – одним болтом М20 і спеціальним болтом із циліндричною пружиною, а кришка 11 другого нижнього люка – чотирма болтами М12.

Для підведення повітря є вентиляційний люк 18. Вихід повітря, що вентилює, здійснений з боку, протилежного колектору, через спеціальний кожух 5, укріплений на підшипниковому щиті 1. Вивідні кінці подачі струму на котушки якоря і полюсів із двигуна виконані кабелем марки ПМУ-4000 із площею перетину 120 мм<sup>2</sup>. Кабелі захищені брезентовими чохлами з комбінованим просоченням. На кабелях є ярлички з поліхлорвінілових трубок з позначенням Я, ЯЯ, К і КК. Вивідні кабелі Я і ЯЯ (рис. 2) з'єднані з обмотками якоря, додаткових полюсів і з компенсаційної, а вивідні кабелі К і КК з'єднані з обмотками головних полюсів.

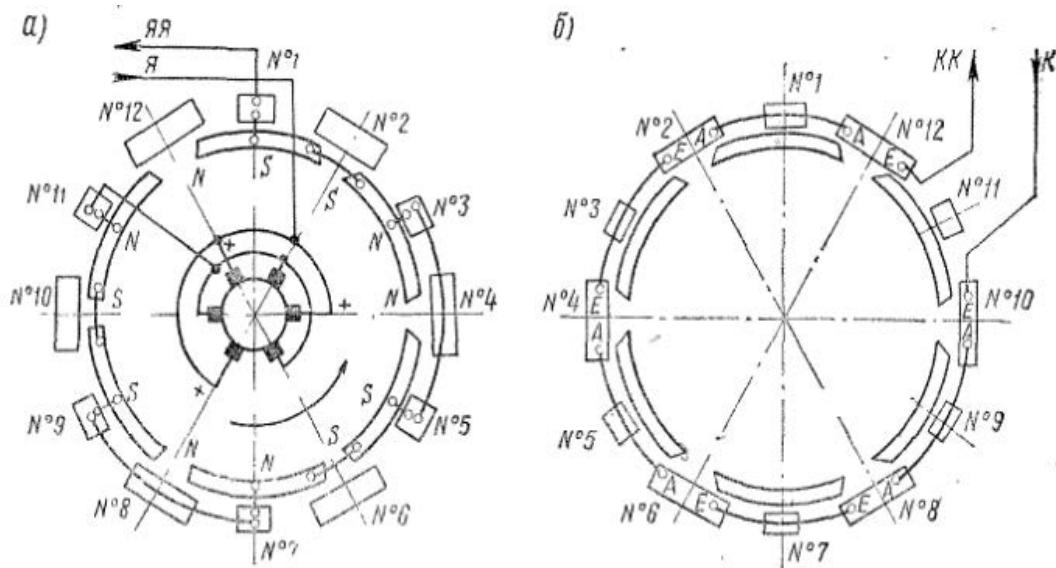


Рис. 2

Осердя головних полюсів 13 (рис. 1) набрані з листів електротехнічної сталі марки 1312 товщиною 0,5мм, скріплені заклепками й укріплені на остові чотирма болтами М24 кожний. Між осердям головного полюса й остовом є одна сталева прокладка товщиною 0,5 мм. Котушка головного полюса 12, що має 19 витків, намотана на ребро з м'якої стрічкової міді розмірами 1,95x65мм, вигнута по радіусу для забезпечення прилягання до внутрішньої поверхні остова.

Для поліпшення робочих характеристик двигуна застосована компенсаційна обмотка 14, розташована в пазах, проштампованих у наконечниках головних полюсів, і з'єднана з обмоткою якоря послідовно. Компенсаційна обмотка складається із шести котушок, намотаних з м'якого прямокутного мідного дроту й має 10 витків. У кожному пазу розташовано по двох витка.

Осердя головних полюсів 10 виконані з товстолістового прокату й укріплені на остові трьома болтами. Для зменшення насичення додаткових полюсів між остовом і осердям додаткових полюсів передбачені діамагнітні прокладки товщиною 8 мм. Котушки додаткових полюсів 9 намотані на ребро з м'якого мідного дроту й мають по 10 витків кожна.

Якір двигуна складається з колектора, обмотки, вкладеної в пази сердечника 5 (рис. 3), набраного в пакет з лакованих аркушів електротехнічної сталі товщиною 0,5мм, сталевій втулки 4, задньої 7 і передньої 3 натискних шайб, вала 8. У осерді є один ряд аксіальних отворів для проходу повітря, що вентиляє. Передня натискна шайба 3 одночасно служить корпусом колектора. Всі деталі якоря зібрані на загальній втулці 4 коробчастої форми, напресованої на вал 8 якоря, що забезпечує можливість його заміни.

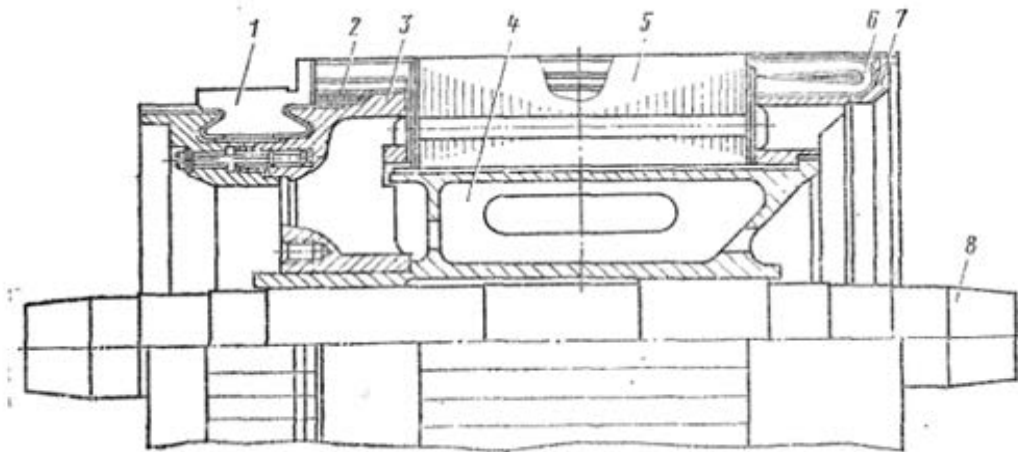


Рис. 3

Якір має 75 котушок 6-ти і 25-ти секційних зрівняльних з'єднань 2.

Кожна котушка має 14 окремих провідників, розташованих по висоті у два ряди, і по сім провідників у ряді.

Колектор двигуна з діаметром робочої поверхні 660 мм набраний з мідних пластин, ізолюваних одна від одної міканітовими прокладками.

Обмотка якоря має такі дані: кількість пазів 75, крок по пазах: 1-13, кількість колекторних пластин 525, крок по колектору 1-2, крок зрівнювачів по колектору 1-176.

Моторно-осьові підшипники складаються з латунних або сталевих вкладишів, залитих по внутрішній поверхні бабітом, і букс із постійним рівнем змащення. Букси мають вікно для передачі змащення. Для запобігання повороту вкладишів передбачено в буксі шпонкове з'єднання.

#### 4. Аналіз роботи тягових двигунів

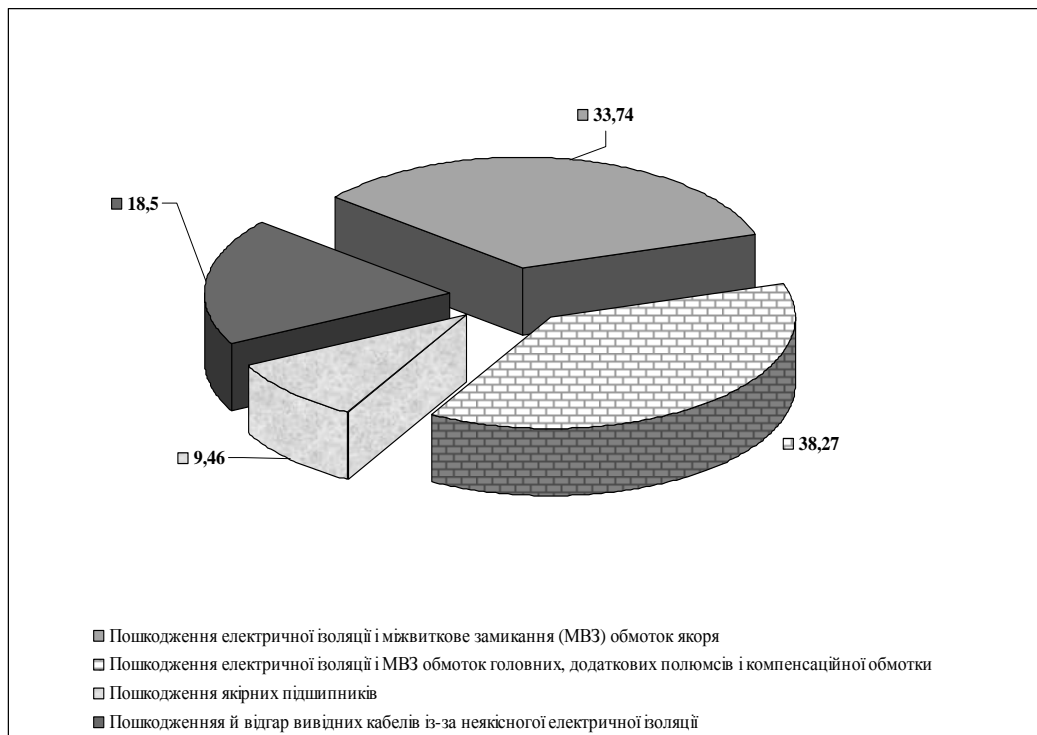
Тягові електричні двигуни належать до найбільш навантаженого устаткування рухомого складу, з погляду комплексного впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних факторів.

Як відомо, найбільша кількість відмов тягових двигунів припадає на ушкодження електричної ізоляції обмоток якорів і котушок головних і додаткових полюсів. На діаграмі 1 подано розподіл несправностей ТЭД-електровозів. Як видно із цих даних, несправності через передчасне руйнування електричної ізоляції становить близько 40 % від загальної кількості претензій.

##### 4.1. Основні причини ушкодження електричної ізоляції такі:

- пробій і міжвиткове замикання обмоток якоря;
- пробій і міжвиткове замикання котушок головних, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки;
- недостатня електрична міцність ізоляції обмоток якоря й полюсів.

Таким чином, однією з основних умов забезпечення надійності й довговічності ТЭД є застосування правильно підібраних електроізоляційних матеріалів які утворять відповідні системи ізоляції.



Діаграма 1

#### 4.2. Основні види впливу на ізоляцію в процесі виготовлення

У процесі експлуатації існують впливи на ізоляцію, причому ці впливи носять довгостроковий характер, при цьому відбувається, так зване, нагромадження «втоми» ізоляції.

Серед основних впливів на ізоляцію в процесі експлуатації є:

- теплові – циклічні зміни обсягу, що призводять до появи тріщин і зсуву стрічок; перегріву, що призводять до теплового пробою й руйнування ізоляції;
- механічні – електромеханічні й магнітні сили (пуск, холостий хід, скидання навантаження та ін.); електромагнітні обертаня; температурні деформації; динамічний вигин, розтягання стиск, зминання; вібрація. Всі ці фактори призводять до руйнування монолітності ізоляції;
- електричні – часткові розряди в порожнечах (бомбардування твердої ізоляції, локальний розігрів до 1000°C на ділянці, хімічна дія (озон, азотна кислота); поверхневі розряди (ковзні розряди, що сковзають іскри, дуга по лобовій частині);
- хімічні – вода (набрякання ізоляції); активні речовини (зростання твердості, крихкості);
- інші – сторонні домішки (феромагнітні частки).

Основною вимогою до ізоляційних матеріалів, технології виготовлення й конструювання є здатність ізоляції в межах необхідного ресурсу протистояти зазначеному вище комплексу експлуатаційних впливів.

При розробці нових систем ізоляції висуваються вимоги максимального використання властивостей ізоляційних матеріалів шляхом збільшення потужності в одиниці об'єму, а також припустимої температури нагрівання обмоток.

### **5. Сучасна технологія виготовлення обмоток тягових електродвигунів**

Основні стадії технології виготовлення обмоток:

- виготовлення моноблоків основного й додаткового полюсів: ізолювання обмоток непросоченими слюдинітовими стрічками з низьким відсотком сполучені з наступним просоченням епоксидним компаундом у вакуумі й під тиском. Іноді використовується окреме просочення котушок компаундом (лаком) з подальшим зміцненням їх на полюсі;

- виготовлення ізоляції компенсаційних котушок: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі поліефірно-епоксидних сполучних з подальшим укладанням обмоток у пази полюсів, де відбувається їх затвердіння за допомогою струму в остові двигуна;

- виготовлення ізоляції якоря: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі епоксидно-поліефірного сполучення з подальшим просоченням у компаунді або лаці у вакуумі й під тиском.

На сьогоднішній день основними напрямками технології просочення з метою створення монолітного стану електричної ізоляції електричних машин є:

- вакуум-нагнітальне просочення (VPI);
- ізоляція із просочених стрічок (Resin Rich);
- змішана технологія.

При застосуванні технології вакуум-нагнітального просочення (VPI) як основна ізоляція використовується склослюдинітові стрічки з низьким вмістом сполучних матеріалів (3-5 %), так звані сухі стрічки або склослюдинітові стрічки з підвищеним вмістом сполучних матеріалів (до 10 %), так звані, напівпросочені стрічки. Як просочувальні сполуки застосовуються різні лаки, компаунди. Технологічний процес складається із просочення під вакуумом і тиском та закрутки у вільному стані.

При виготовленні ізоляції із просочених стрічок (Resin Rich) застосовуються просочені склослюдинітові стрічки із вмістом сполучного матеріалу 25-30 %. Технологічний процес складається в механічному обпресуванні котушок і сушінні при підвищеній температурі або гідростатичному обпресуванні в бітумі й сушінні при підвищеній температурі.

При застосуванні змішаної технології як основна ізоляція застосовується комбінована ізоляція (сухі або просочені склослюдинітові стрічки), різні лаки або компаунди як просочувальні сполуки. Технологічний процес складається з просочення під вакуумом і тиском, сушіння у вільному стані.

Найпоширенішим способом просочення в компаундах ізоляції обмоток електричних машин, ефективність якого не викликає сумнівів і підтверджена десятиліттями виробничої й експлуатаційної практики, є вакуум-нагнітальний. В основі цього процесу лежать видалення повітря з капілярно-пористої структури ізоляційної конструкції в результаті глибокого вакуумування й подальше її заповнення просочувальною сполукою під дією надлишкового тиску.

Численні експериментальні дослідження доводять, що при правильно обраних технологічних параметрах вакуум-нагнітальне просочення забезпечує вміст компаунда в системах ізоляції на основі непросочених стрічок ~ 38-42 %, а також додаткове насичення (у середньому на 46 %) систем ізоляції з попередньо



просоченими стрічками. Це визначає формування монолітних ізоляційних структур, з високими функціональними властивостями.

Як альтернатива вакуум-нагнітального просочення пропонується ультразвукове просочення (УЗП), що використовує здатність ультразвукових коливань витіснити повітря з капілярів і одночасно забезпечувати прискорене просування по них сполуки, що просочує.

Однак, за даними досліджень, проведених ВЭЛНИИ (м. Новочеркаськ, РФ), при дослідженні ізоляції демонтованої обмотки якоря, просоченої із застосуванням УЗП, встановлено, що в більш, ніж 50 % котушок ізоляція напівпакетів і виткова ізоляція повністю не просочені, а процентний вміст сполучного в їхній корпусній ізоляції становить від 8 % (верхній шар) до 12 % (нижній шар).

У разі вакуум-нагнітального просочення отримане повне просочення ізоляції (включаючи виткові) всіх обстежених котушок, при розкіді значень процентного вмісту сполучного в корпусній ізоляції не більше 4 % , що є наслідком рівномірного розподілу рушійної сили вакуум-нагнітального просочення (гідростатичний тиск) по поверхні якоря.

Таким чином, проведені дослідження довели, що технологічний процес УЗП у компаунді не забезпечує повного й рівномірного заповнення сполукою, що просочує, ізоляції котушок, а її електричної міцності показники уступають аналогічній системі ізоляції, просоченої вакуум-нагнітальним способом.

**5.1. Стандартний комплекс експериментальних досліджень, проведених при розробці нових систем ізоляції, містить у собі:**

- оцінку електрофізичних і технологічних параметрів всіх електроізоляційних матеріалів, що входять у дану систему ізоляції;
- багатофакторні випробування обраних систем ізоляції й конструкцій обмоток тягових електродвигунів;
- рівень зміни основних характеристик ізоляційної системи двигуна під впливом експлуатаційних навантажень (електричне поле, температура, механічні й кліматичні навантаження). Цей параметр визначається або в процесі експлуатації тягових електродвигунів за певний період, або за допомогою імітації цих навантажень шляхом ресурсних випробувань двигуна.

Якщо говорити про сучасні системи ізоляції, то тут повні комплекси електроізоляційних матеріалів для різних типів електричних машин і апаратів пропонують провідні світові виробники електроізоляційних матеріалів.

**6. Магнітні й електричні властивості матеріалів, з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягових двигунів**

Для реалізації потенціальних здатностей тягових двигунів необхідно підтримувати величину магніторушійної сили (МРС), що у свою чергу залежить від величини магнітної індукції, магнітних властивостей матеріалів з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга, а також від величини й рівномірності повітряного проміжку, які передбачені конструкторською документацією тягового двигуна.

Основні електромагнітні співвідношення, як відомо з теорії електричних машин, між електрорушійною силою, магнітним потоком, частотою обертання й конструктивних особливостей двигунів визначаються такими залежностями:

**6.1. Е.р. с. якоря й електромагнітний момент (Л-1)**

$$E = \frac{pN}{a} \hat{O} \delta n \quad (1-5).$$

Е.р. с. Якоря:

$$E_a = C_e \Phi n \quad (1-6)$$

$$C_e = pN/a \quad (1-7).$$

де  $C_e$  – постійна для кожної машини величина.

Якщо замість величини  $n$  ввести у формулу (1-6) кутову швидкість обертання  $\Omega = 2\pi n$

$$E = C_m \Phi \delta \Omega \quad (1-7)$$

$$C_m = Ce / 2\pi = pN / 2\pi \quad (1-8),$$

де  $C_m$  – постійна для кожної машини величина.

Як видно з виразу (1-7) е.р. с.  $E$  пропорційна основному магнітному потоку й швидкості обертання й не залежить від форми кривої розподілу індукції в повітряному проміжку.

### 6.2. Основні електромагнітні навантаження

Найважливішими електромагнітними навантаженнями електричної машини, що визначають ступінь використання матеріалів і розміри машини при заданій номінальній потужності, є магнітна індукція в повітряному проміжку  $B \delta$  і лінійне навантаження якоря  $A_a$ . Остання являє собою загальне значення струму обмотки якоря на одиницю довжини округлої частини якоря. Для машин постійного струму:

$$A_a = \frac{NIa}{4a\tau} \quad (1-9)$$

Як видно з 1-9 основний електромагнітний момент залежить від основного магнітного потоку й величини повітряного зазору між осердям якоря й осердями полюсів, тому при конструюванні тягових двигунів враховані вимоги законів електромагнітної індукції й негативних дій реакції якоря. Основним магнітним потоком  $\Phi \delta$  називається потік у повітряному зазорі  $\delta$ , що припадає на один головний полюс машини (рис. 4). Значення  $\Phi \delta$  визначає значення е.р.с., яку індукуюємо в обмотці якоря:

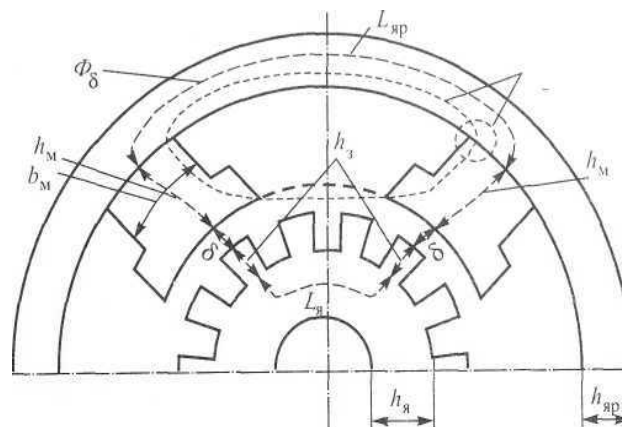


Рис. 4. Магнітний ланцюг однієї пари полюсів

Магнітний потік машини створюють головні полюси тягових двигунів, які складаються із осердя й котушки. Осердя виготовлені з листової електротехнічної сталі від магнітних властивостей якої залежить величина магніторушійної сили, створюваної головними полюсами при проходженні по обмотці номінального струму.

Середній вік ТЭД становить 33 – 50 років. За цей час вони відпрацювали тисячі годин (181000-274000 год.) при повному навантаженні, у результаті чого відбулися мільйонні цикли перемагнічування, а також зроблено безліч ремонтів і різних модернізацій. За цей період матеріали, з яких виготовлені осердя якорів і полюсів, пройшли процес старіння, в результаті чого зменшилися їхні магнітні властивості.

Ступінь втрат магнітних властивостей у результаті старіння залежить від віку й марки сталі з якої виготовлені сердечники полюсів, якорів і остовів.

*Таблиця*

**Марки сталі, з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягового двигуна**

Тип	Марка сталі		
двигуна	осердя		остовів
	якорів	полюсів	
ТЛ-2К-1	2212	1213	Сталь 25лк

Великий вплив на магнітні властивості матеріалів чинить процес її старіння, у результаті чого електротехнічна сталь втрачає магнітні властивості, що в кінцевому результаті позначається на величині магнітного потоку двигунів і, як наслідок, зменшується потужність тягових двигунів.

Перераховані вище заходи щодо зменшення магнітного опору й поліпшення магнітних властивостей матеріалів дозволять більшити величину магніторушійної сили машини в цілому і, як наслідок, збільшити проектну потужність тягових двигунів (Л6).

**7. Вплив внутрішніх геометричних розмірів остова**

Відстань між осердям якоря (ротора) і головних полюсів статора (остова) є визначальним чинником збереження заданої потужності електродвигуна й повинен витримуватися після проведення ремонтів з розбиранням електродвигунів. Необхідно знайти відстань від поверхні осердя всіх головних полюсів статора до поверхні ротора, а також установити рівномірний повітряний проміжок між осердям всіх головних полюсів статора й осердям ротора. Контроль параметрів здійснюється за допомогою спеціальних приладів робітником і всі результати залежать від людського фактора. Доцільно виготовити вимірювальний пристрій, який монтується в корпусі двигуна у вигляді циліндра, що разом зі зібраним вимірювальним стрижнем входить у підшипниковий отвір остова. Пристрій врівноважені вантажем, які у вигляді дисків закріплено на підвісках, що мають розміри статора, після чого пристрій входить у корпус електродвигуна й закріплюється в ньому за допомогою втулок. Вимірювальний пристрій центрується

в отворах для роликотідшипників. У результаті вимірювальної пристрій дозволяє контролювати відстань від осі ротора до поверхні статора в будь-якій точці. Для виміру використовуються елементи механічних вимірювальних приладів виготовлених на спеціалізованих підприємствах. Встановлення відповідних геометричних розмірів середньої порожнини остова забезпечує розмір повітряного проміжку між осердям головних полюсів і ротора, який має бути не більше 4-5 мм, та між осердям допоміжних полюсів в межах 7-8 мм. Постійність повітряного проміжку забезпечується також за допомогою підбирання підшипників з мінімально допустимими радіальними зазорами, які передбачені технічними умовами та конструкторською документацією.

### **Висновки**

Із проведеного аналізу роботи тягових двигунів і дослідження властивостей матеріалів, які застосовувалися при їх будівництві і ремонті, витікає, що основними факторами передчасного виходу із ладу тягових двигунів є електрична і механічна міцність електроізоляційних матеріалів, нерівномірного повітряного проміжку між осердями головних полюсів і якоря, який залежить від геометричних розмірів остова і радіальних розбіжностей підшипників та наднормативних циклів перемагнічування електротехнічної сталі осердя якоря головних і додаткових полюсів. З метою підвищення надійності роботи складових тягових двигунів необхідно провести комплексну модернізацію тягових двигунів передбачивши, такі складові:

- впровадження нових систем електроізоляційних матеріалів класу нагрівостійкості F, H, C;
- заміна електротехнічної сталі осердя якорів та головних і додаткових полюсів;
- відновлення геометричних розмірів остовів;
- випробування тягових двигунів по програмі, передбаченій ГОСТ 2582-81.

### **Організаційно-технічні ризики при проведенні комплексної модернізації**

Під час проведення модернізації виникають організаційні і технічні ризики, зокрема:

#### **організаційні ризики**

- несвоєчасне забезпечення технологічного процесу об'єктами;
- не забезпечення матеріальними ресурсами, обладнанням;
- не забезпечення інструментом;
- не забезпечення енергоносіями;
- не бажання проведення комплексної модернізації;

#### **технічні ризики**

- недосконалість технологічного процесу проведення комплексної модернізації;
- неякісне проведення відновлення геометричних розмірів;
- невідповідність сертифікатам електротехнічних матеріалів;
- відсутність відповідного обладнання для проведення операцій з золяції, просочування і сушіння обмотаних якорів та котушок головних та додаткових полюсів;
- неякісний контроль виконання технологічних операцій;
- відсутність обладнання або його невідповідність для проведення ресурсних випробувань.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Видавництво Дніпропетровський нац. ун-ту заліз. трансп. ім акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Тихменев Б. П., Трахтман Л. И. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. – Москва: Издательство «Транспорт», 1980. – 356 с.
3. Дубинець Л. В., Вислогузов В. Т., Кийко А.І. та ін. Тягові електричні апарати контактні. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2002. – 101 с.
4. Алексюк М. М., Данилевський В. И. Устройство для измерения воздушного зазора между сердечником статора и якорем электродвигателя. – К.: ДЕДУТ, 2010.
5. Данилевський В. І., Мельник Т. М. Підвищення надійності роботи тягових двигунів тягового моторвагонного рухомого складу залізниць України: Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕДУТ, 2008. – С. 38-40.
6. Данилевський В. І., Данилевський В. В. Исследование магнитной системы тяговых двигателей электроподвижного состава. – Локомотив-информ. – № 7. – 2008. – С. 18-21.
7. Данилевський В. В., Данилевський В. В., Гулак С. О. Науково-технічне обґрунтування доцільності модернізації випробувальних станцій електричних машин електрорухомого складу. – Локомотив-информ. – № 1-2. – 2009. – С. 4-7.