

УДК 629.423.1-592.55

**В.І. Данилевський, к. т. н., доцент**  
(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний  
університет інфраструктури та технологій )  
**Д.О. Заїка,**  
(інженер кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний  
університет інфраструктури та технологій)

### **ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НОВИХ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ**

У статті приведений аналіз роботи тягових двигунів та причини їх передчасного виходу із ладу, що приводить до позапланових ремонтів електровозів і відповідно витратити кошти. Надаються пропозиції з комплексної модернізації тягових електричних машин зокрема застосування систем електричної ізоляції з класом нагрівостійкості  $H$  і  $C$ , а також заміна електротехнічної сталі осердя якорів на сучасні на 2212 та 1213.

**Ключові слова:** тяговий двигун, позаплановий ремонт, тягові електричні машини, система електричних ізоляцій, нагрівостійкість класу  $H$  і  $C$ , електротехнічна сталь, осердя якоря.

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

**Постановка проблеми.** Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості двигунів впливають їх магнітні характеристики, тобто залежність магнітного потоку  $\Phi$  від магніторушійної сили (МРС) збудження  $F$ . Оскільки, як відомо  $E = C_e n \Phi$ , де  $E$  – електрорушійна сила (ЕРС);  $C_e$  – стала;  $n$  – частота обертання, то  $E/n = C_e \Phi$ . Отже, магнітна характеристика може бути подана як  $E = n(F)$ , а її вид визначається ступенем насичення або коефіцієнтом насичення  $k_{\text{НС}}$ , який є відношенням відносного спаду магнітного потенціалу в усьому магнітному колі

© Данилевський В.І., Заїка Д.О., 2018

$F_{ном}$ . до відносного спаду магнітного потенціалу в повітряному проміжку  $F$ , тобточим вище значення  $k_{нс}$ , тим менші габарити й маса двигуна, але в той же час гірші його регульовальні властивості. Зазвичай, щоб задовольнити ці суперечні вимоги, приймають  $k_{нс} = 1,6.. 2,0$ . При менших значеннях машина буде слабо-, а при більших – дуже насичена.

Економність 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.

Регульовальні властивості. Звичайно, щоб задовольнити ці суперечні вимоги, приймають у тягових двигунах електровозів лінійні навантаження приблизно становлять  $A = (400..500)10^2$  А/м, щільність 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 (Л1).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Тягові електричні двигуни належать до найбільш навантаженого устаткування рухомого складу [1,8], з погляду комплексного впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних факторів. Як відомо, найбільше число відмов тягових двигунів доводиться на uszkodження електричної ізоляції обмоток якорів і котушок головних і додаткових полюсів. На діаграмі 1 представлений розподіл несправностей ТЕД електровозів. Як видно із цих даних, несправності через передчасне руйнування електричної ізоляції становлять близько 40% від загальної кількості претензій [2].

Основні причини пошкодження 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 полюсів.

Таким чином, однією з основних умов забезпечення надійності й довговічності ТЕД є застосування правильне підбирання електроізоляційних матеріалів які утворюють відповідні системи ізоляції.

Основні вимоги, які пропоновані до систем ізоляції:

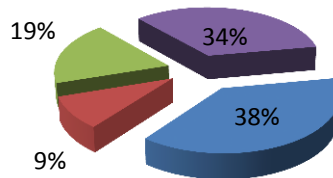
- термічні – високий температурний індекс, стійкість до змін температури, висока теплопровідність;
- фізико-механічні – абразивна стійкість (до пилу), висока міцність при розтяганні, стиску, зрушенні, стійкість до вібрації;
- електрична й діелектричні – висока електрична міцність, стійкість до тривалих напруг, низький тангенс кута діелектричних втрат;
- інші – вологостійкість, стійкість до хімічних впливів, стійкість до радіації.

Вплив на ізоляцію починаються вже в процесі виготовлення. Такі впливи носять короткочасний характер, однак, рівень впливів може значно перевищувати експлуатаційний [3,10].

Основні види впливу на ізоляцію в процесі виготовлення:

- теплове – підвищена температура;

- механічне – деформації при виготовленні й укладанні обмоток електричних машин;
- електричне – вплив іспитовою напругою.



- 38,27% пошкодження електричної ізоляції і МВР обмоток головних, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки
- 9,46% пошкодження якірних підшипників
- 18,5% пошкодження і відгар вивідних кабелів із-за неякісної електричної ізоляції
- 33,74% пошкодження електричної ізоляції і міжвиткове замикання (МВР) обмоток якоря

Рис. 1. Основні причини пошкодження електричної ізоляції

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

Серед основних впливів на ізоляцію в процесі експлуатації:

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

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

**Метою роботи є:** розробка нових систем ізоляції яким висуваються вимоги максимального використання властивостей ізоляційних матеріалів шляхом збільшення потужності в одиниці об'єму, а також припустимої температури нагрівання обмоток.

Сучасна технологія виготовлення обмоток тягових електродвигунів включає такі основні стадії [4] :

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

- виготовлення ізоляції компенсаційних котушок: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі поліефірно-епоксидних сполучних з наступним 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 наступним просоченням у компаунді або лаку у вакуумі й під тиском.

Найпоширенішим способом просочення в компаунд-ізоляції обмоток електричних машин, ефективність якого не виникає сумнівів, підтверджена десятиліттям виробничої й експлуатаційної практики, є вакуум-нагнітальний. В основі цього процесу лежать видалення повітря з капілярно-пористої структури ізоляційної структури конструкції в результаті глибокого вакуумування й наступне її заповнення просочувальним составом під дією надлишкового тиску.

Численні експериментальні дослідження показують, що при правильно обраних технологічних параметрах вакуум-нагнітальне просочення забезпечує зміст компаунда в системах ізоляції на основі не просочених 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.

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 заміни 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 виробники електроізоляційних матеріалів на Україні ТОВ НВП Укрпромвпровадження.

**Виклад основного матеріалу:** внесення змін в конструкторську та технологічну документацію обмоток тягових двигунів.

Наприклад, для ТЕД, що мають виготовлятися з системами ізоляцій по класу нагрівостійкості Н(ТЛ-2К) перелік основних електроізоляційних матеріалів виглядає наступним чином:

Для ТЕД, що мають виготовлятися з системами ізоляції по класу нагрівостійкості F (НБ-497, НБ-406, АЛ-484еТ) перелік основних електроізоляційних матеріалів виглядає наступним чином:

Для перспективних двигунів класу нагрівостійкості С має використовуватися система ізоляції [5,9].

Таблиця 1

**Приведення у відповідність креслень конструкторської документації з огляду на електроізоляційні матеріали та системи ізоляцій**

Для приведення у відповідність креслень конструкторської документації з огляду на електроізоляційні матеріали та системи ізоляцій, що застосовуються, необхідно внести відповідні зміни, вказавши системи електроізоляційних матеріалів, що мають застосовуватися відповідно до матеріалів вказаних в таблицях 1, 2, Область застосування	Обмотка якоря		Обмотка якоря
	Котушка головного полюсу Котушка додаткового полюсу	Компенсаційна котушка	
Виткова ізоляція	—	—	Стрічка слюдяна просочена Елізтерм-155-ТПл
Корпусна ізоляція	Стрічка слюдяна просочена Елізтером-155-ТПл Просочувальний компаунд Елпласт-155 ІД	Стрічка слюдяна просочена Елізтером-155-ТПл	Просочувальний компаунд Елпласт-155 ІД
Покривна ізоляція	Скlostрічка ЛЕСБ		
Пазова ізоляція	—	—	Композиційні матеріали Ізофлекс 181, ГПП-ЛСП-ТТ-Пл (в), ін.
Бандаж	—	—	Стрічка скло бандажна ЛСБЕ- F(y)
Покриття	Покривна емаль Епімаль-9155		
Заповнення пустот	Герметик електроізоляційний ПЕ-0020		

Термоліт  $C(\tau)$  на основі таких електроізоляційних матеріалів:

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.

Таблиця 2

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

Область застосування	Обмотка якоря		Обмотка якоря
	Котушка головного полюса Котушка додаткового полюса	Компенсаційна котушка	
Виткова ізоляція	—	—	Стрічка слюдяна просочена Елізтерм-220-ТПл
Корпусна ізоляція	Стрічка слюдяна просочена Елізтером-220-ТПл Просочувальний компаунд Елпласт-220 ІД	Стрічка слюдяна просочена Елізтер-220-ТПм	Просочувальний компаунд Елпласт-220 ІД
Міжвиткова ізоляція	Азбестовий папір	Стрічка слюдяна просочена Елізтер-220-ТПм	—
Покривна ізоляція	Скlostрічка ЛЕСБ		
Пазова ізоляція	—	—	Композиційні матеріали Ізофлекс 181, ГІК-ЛСК-ТТ-Пл (в), ін.
Бандаж	—	—	Стрічка скло бандажна ЛСБЕ-С(у)

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

Е.Р.С. якоря й електромагнітний момент:

$$E = \frac{pN}{a} \theta \delta n, \quad (1)$$

Е.Р.С. якоря:

$$E_a = C_e \Phi n, \quad (2)$$

де  $C_e$  – постійна для кожної машини величина.

$$C_e = \frac{pN}{a}, \quad (3)$$

Як виходить з виразу (3) Е.Р.С.  $E$  пропорційна основному магнітному потоку й швидкості обертання й не залежить від форми кривої розподілу індукції в повітряному проміжку.

Електромагнітний момент і електромагнітна потужність.

При тих же припущеннях, що й при визначення  $E_a$ , електромагнітний момент:

$$M_{em} = C_m \Phi \delta I_a, \quad (4)$$

Відзначимо, що вираз (4) з урахуванням рівності (3) можна представити також у вигляді:

$$M_{em} = \frac{1}{2\pi} \left( N \frac{I_a}{a} \right) (2p\Phi\delta), \quad (5)$$

звідки виходить, що момент пропорційний потоку всіх полюсів  $2p\Phi\delta$  і струму  $I_a$

Зі співвідношень впливають також два рівноцінних вирази для електромагнітної потужності:

$$P_{em} = E_a I_a = M_{em} \Omega. \quad (6)$$

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

$$A_a = \frac{N I_a}{4 p \tau}, \quad (7)$$

Як видно з виразу (5) основний електромагнітний момент залежить від основного магнітного потоку й величини повітряного зазору між сердечником якоря й сердечниками 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 доводиться на

один головний полюс машин рис. 1. Значення  $\Phi_{\delta}$  визначає значення е.р.с., яку індукують в обмотці якоря

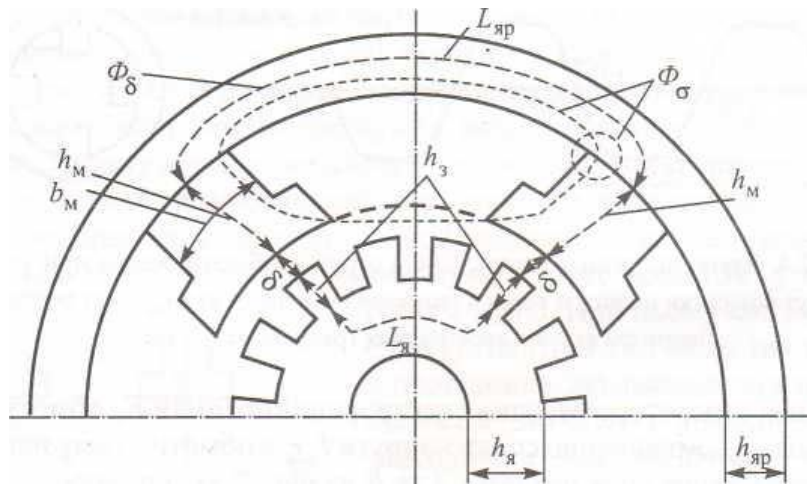


Рис. 1. Магнітний ланцюг однієї пари полюсів

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. Розглядаючи основні магнітні, електричні й механічні властивості сталі різних марок (табл. 2) з яких виготовлені осердя якорів і полюсів можна зробити висновок, що від їхніх властивостей залежать електромеханічні параметри тягових двигунів.

Середній вік ТЕД становить 33 – 50 років. За цей час вони відробили тисячі годин (181000-274000 год.) при повному навантаженні в 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 осердя полюсів, якорів і остовів. Осердя якорів, полюсів і остів виготовлені з марок сталі й відображені в табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Марки сталі з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягового двигуна

Тип	Марка сталі		
	Сердечників		Остовів
Двигуна	Якорів	Полюсів	
ТЛ-2К-1	2212	1213	Сталь 25лк



Таблиця 4

**Марки сталі з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягового двигуна та які питомі втрати у кожній сталі**

Марка	Товщина мм	Питомі магнітні втрати Вт/кг не більше		Магнітна індукція, Тл, не менш при напруженості магнітного поля, А/м				Питомий електричний опір Ом. мм. кВ/м
		P1,0/50	P1,5/50	1000	2500	5000	10000	
2212	0,5	2,2	5,0	1,42	1,68	1,68	1,77	0,17
1213	0,5	2,8	6,5	1,2	1,6	1,68	1,77	0,25
1312	0,5	2,2	5,3	1,23	1,53	1,62	1,76	0,4
Ст.2	0,5	3,1	7,2	1,28	--	--	-i-	-i-

Великий вплив на магнітні властивості матеріалів чинить процес її старіння, у результаті чого електротехнічна сталь втрачає магнітні властивості, що в остаточному підсумку 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 збільшити величину магніторушійної сили машини в цілому і, як наслідок, збільшити проектну потужність тягових двигунів.

**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 [6]. 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 в настоящий момент 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 підшипникові отвір остова. Пристрої врівноважені вантажем, які у вигляді дисків закріплено на підвіску та мають розміри статора, що кріпиться болтами. У такий спосіб пристрій входить у корпус електродвигуна й закріплюється в ньому за допомогою втулок. Вимірювальний пристрій центрується в отворах для ролик-підшипників. У результаті вимірювальний 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 ротором, який повинен бути не більше 4-5 мм, та між осердям допоміжних полюсів повинен бути в межах 7-8 мм (Л-1,4). Постійність повітряного проміжку забезпечується також за допомогою підбирання підшипників з

мінімально допустимими радіальними зазорами, які передбачені технічними умовами та конструкторською документацією.

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

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

**організаційні ризики:**

- своєчасне забезпечення технологічного процесу об'єктами;
- забезпечення матеріальними ресурсами обладнанням;
- забезпечення інструментом;
- забезпечення енергоносіями;
- бажання і можливість проведення комплексної модернізації;

**технічні ризики:**

- наявність технологічного процесу проведення комплексної модернізації;
- якісне проведення відновлення геометричних розмірів;
- невідповідність сертифікатам електротехнічних матеріалів;
- відсутність відповідного обладнання для проведення операцій по ізоляції; 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.

**Висновки.** Внесення змін в конструкторську та технологічну документацію обмоток тягових двигунів з застосуванням сучасних електроізоляційних матеріалів вітчизняного виробництва класу нагрівостійкості  $F, H$  і  $C$  та заміна електротехнічної сталі осердя якорів на сучасні, що зменшить магнітні втрати в них та зменшить повітряний проміжок між осердям якоря та головних полюсів, що сприятиме збільшенню величини магнітного потоку. Вказана комплексна модернізація дасть можливість збільшення потужності тягових двигунів та локомотивів в цілому, а також збільшити міжремонтний пробіг локомотивів та моторвагонного рухомого складу в цілому. З цією метою необхідно внести зміни в технологічну та конструкторську документацію по ремонту тягових електричних машин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шавкун В. М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту //Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – №. 1 (7). – С. 48-53.
2. Данилевський В. І., Черних Ю. М., Сливовська Л. В. Аналіз наявності, вимог до конструкції та роботи тягових двигунів електрорухомого складу залізниць //Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – 2015. – №. 26-27. – С. 102-110.
3. Губаревич О. В. Надійність і діагностика електрообладнання. – 2016.
4. Зінківський А. М., Гусев В. О. Підвищення працездатності тягових електродвигунів електровозів //Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2015. – Т. 2. – №. 158.
5. Neyman V.Y., Neyman L A. Impact synchronous electromagnetic machines forced cooling systems constructions estimation //Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2015. – Т. 8. – №. 2. – С. 166.

6. Диха О.В. Підвищення зносостійкості циліндричних напрямних ковзання методом дискретної електроконтактної цементації : дис. – Хмельницький національний університет, 2015.
7. Данилевський В. І., Тарасюк В. М. Конструкція електричних машин електропоїздів залізниць України : монографія / Данилевський ВІ, Тарасюк В.М. – К.: Видавництво ДЕТУТ, 2014.
8. Li Y., Zhang Y., Zhang T. Simulation and experimental studies of speed sensorless control of permanent magnet synchronous motors for mine electric locomotive drive // International Journal of Control and Automation. – 2014. – Т. 7. – №. 1. – С. 55-68.
9. Нейман Л. А., Нейман В. Ю., Шабанов А. С. Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // Электротехника. – 2014. – №. 12. – С. 50-53.
10. Губаревич О. В. К вопросу ускоренных испытаний на надежность машины постоянного тока. – 2015.

## REFERENCES

1. Shavkun, VM (2014). Diagnosis of electric traction electric vehicles. East European Journal of Advanced Technology, (1 (7)), 48-53.
2. Danilevsky, V.I., Chernykh, Yu.M., & Slivovska, L.V. (2015). Analysis of the availability, requirements for the design and operation of the traction engines of the electric railway rolling stock. Collection of scientific works of the State economic-technological university of transport. Series: Transport Systems and Technologies, (26-27), 102-110.
3. Gubarevich, O. V. (2016). Reliability and diagnostics of electrical equipment.
4. Zinkivsky, AM, & Gusev, V.O. (2015). Improvement of efficiency of traction electric motors of electric locomotives. Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport, 2 (158).
5. Neyman, V. Y., & Neyman, L. A. (2015). Impact synchronous electromagnetic machines forced cooling systems constructions estimation. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 8(2), 166.
6. Dick, O.V. (2015). Increasing the degree of cylindrical directional circulations by the discrete electrocontact cement method (doctoral dissertation, Khmelnytskyi national university).
7. Danilevsky, V.I., & Tarasyuk, V.M. (2014). Construction of electric cars of electric trains of Ukrainian railways. Monograph / Danilevsky VI, Tarasyuk VM-K. : Publishing house DETUT.
8. Li, Y., Zhang, Y., & Zhang, T. (2014). Simulation and experimental studies of speed sensorless control of permanent magnet synchronous motors for mine electric locomotive drive. *International Journal of Control and Automation*, 7(1), 55-68.
9. Neyman L. A., Neyman V. Yu., Shabanov AS. Simplified calculation of electromagnetic shock drive in re-short-term mode of operation // Electrotechnics. - 2014. - No. 12. - P. 50-53.
10. Gubarevich, O.V. (2015). On the issue of accelerated tests on the reliability of the machine of direct current.

**В.І. Данилевский, к. т. н., доцент**  
(доцент кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог»,  
Государственный университет инфраструктуры и технологий)  
**Д.О. Заика,**  
(инженер кафедры «Тяговый подвижной состав железных дорог»,  
Государственный университет инфраструктуры и технологий)

*В статье приведен анализ работы тяговых двигателей та причины их преждевременного выхода из рабочего состояния, что приводит к увеличению затрат неплановых ремонтов электровозов. Подаются предложения по комплексной модернизации тяговых электрических машин в том числе применение систем электрической изоляции классом нагревостойкости H и C, а также замена электротехнической стали 2212 и 1213.*

**Ключевые слова:** тяговый двигатель, внеплановый ремонт, тяговые электрические машины, система электрических изоляций, нагревостойкость класса H и C, электротехническая сталь, сердечник якоря.

*V.I. Danilevsky PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor of Department of traction rolling stock of railways, State  
University of Infrastructure and Technologies)*

*D.A. Zaika,  
(Engineer of Department of traction rolling stock of railways, State University of  
Infrastructure and Technologies)*

**EXTENSION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE OPERATION WITH USE  
OF NEW NEWEST MATERIALS IN CAPITAL REPAIR**

*In the article, the analysis of the work of the traction engines and the reasons for their premature failure, which lead to unscheduled repair of electric locomotives and, accordingly, to spending money. Proposals for the complex modernization of traction electric cars, in particular the application of electrical insulation systems with the class of heat resistance H and C, as well as the replacement of the electrotechnical steel of the anchor core to the modern ones at 2212 and 1213, are offered. The propulsion engines operate practically continuously in the boundary conditions caused by voltage fluctuations in the contact network and the changes in the currents consumed, and the latter vary from 0, 25 / nm. to 2 / n. , which leads to even more power losses. The change in voltage in DC contact networks is respectively 2200 - 4000 V. All these facts create special requirements for the electric and mechanical strength of the traction motor units. The isolation of their windings in relation to the enclosure must withstand the test voltage  $U = (2.25U + 2000) \text{ B}$ . For motors receiving power from a direct current contact network,  $U$  is equal to the idle speed at the engine's collector.*

**Keywords:** *traction motor, unscheduled repairs, traction electrical machines, electrical insulation system, class H and C heat resistance, electrical steel, armature core.*