

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Сушко Дмитро Леонідович

УДК 621.333.001.4

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ
РУХОМОГО СКЛАДУ**

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Системи електричної тяги» Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

- Науковий керівник:** – доктор технічних наук, професор
Сінчук Олег Миколайович, технічний директор ТОВ ТД
«Електричні машини», м. Харків
- Офіційні опоненти:** – доктор технічних наук, професор
Бабанін Олександр Борисович,
Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра
«Експлуатація та ремонт рухомого складу», професор кафедри, м.
Харків
– кандидат технічних наук, доцент
Варченко Валентин Кирилович, генеральний конструктор, ДП
«НВК Електровозобудування», м. Дніпропетровськ
- Провідна установа:** Східноукраїнський національний університет імені Володимира
Даля, кафедра «Залізничний транспорт», Міністерства освіти і
науки України, м. Луганськ

Захист відбудеться « 25 » травня 2006 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий « 24 » квітня 2006 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Д.В. Ломотько

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. В умовах фізичного «старіння» локомотивного парку, що відбувається на залізничному транспорті України, підвищення надійності експлуатації тягового рухомого складу неможливо без впровадження ефективних методів контролю якості їх технічного обслуговування і ремонту. При цьому, для забезпечення необхідних обсягів і термінів перевезень, безпеки руху поїздів необхідно так будувати стратегію технічного обслуговування устаткування, щоб постійно підтримувати його надійність на гідному рівні, зменшувати час простою локомотивів через несправність їхніх вузлів, агрегатів і систем.

В цих умовах особливої уваги до себе, а точніше до оцінки стану, вимагає електроустаткування і, зокрема, тягові двигуни (ТД) постійного струму, оскільки на їхню частку випадає 30-35% відмов в роботі електроустаткування локомотивів від загального їх числа.

Одним з ефективних та перспективних шляхів вирішення задачі підвищення надійності ТД є впровадження ефективних і багатофункціональних засобів оцінки їх технічних параметрів у комплексі загальної структури системи технічного обслуговування і планово-попереджувальних ремонтів.

Актуальність теми. Як свідчать дані служб експлуатації рухомого складу різних видів та призначень, в Україні щорічно майже 70% тягових двигунів проходять той чи інший види ремонтів.

Параметри тягового двигуна, у тому числі і номінальні, з часом експлуатації і кількістю ремонтів погіршуються. Дослідження підтверджують, що після ремонту тягові двигуни в силу різних причин суттєво змінюють свої технічні (електротехнічні) параметри. Більш того, можна стверджувати, що після ремонту тягових двигунів служби експлуатації отримують останні з новими, іншими від попередніх (до ремонту) параметрами. При цьому ТД повинні працювати в комплексі тягових електроприводів і систем управління локомотивами (моторвагонами) налагоджених на старі (паспортні) параметри тягових двигунів, які мали до їх ремонту. Безумовно, що в такій ситуації функціонування тягового комплексу локомотивів як системи, не може бути ефективним і навіть безпечним.

Тягові двигуни рухомого складу працюють в режимах багатодвигунового приводу при послідовно-паралельному з'єднанні. При такому варіанті їх з'єднань різниця параметрів ТД і особливо двигунів постійного струму вкрай негативно позначається на роботі всього тягового приводу, як електромеханічної системи, і що особливо важливо на термін служби самих двигунів. Переводячи на мову «механіки», така ситуація рівносильна роботі локомотива при різних діаметрах привідних пар коліс.

Існуючі скудні і нерідко суперечливі відомості про допустимі рівні різниці електромеханічних параметрів послідовно-паралельно працюючих ТД говорять про неприпустимість перевищення цієї різниці більш ніж на 3-5%. В протилежному випадку спостерігається підвищений знос одного з пари ТД, а саме система тягового приводу переходить в режим функціонування, близький до аварійного (псевдоаварійного) режиму з передумовами наступного прискореного переходу в аварійний стан.

Ідентифікація параметрів ТД, з метою недопущення використання їх на локомотивах при різних значеннях електромеханічних параметрів, носить антиаварійний напрямок. Необхідно впровадити вхідний контроль двигунів після ремонту чи заміни, шляхом ідентифікації їх параметрів, котрі в подальшому будуть покладені в основу зміни алгоритмів (параметрів) керування, як системою тягового приводу так і самого рухомого складу.

Поліпшення якості післяремонтних випробувань є одним з шляхів підвищення надійності роботи ТД. Під підвищенням якості випробувань у даному випадку розуміється збільшення їх точності та обсягу інформації про досліджуваний об'єкт за рахунок застосування методів ідентифікації електромеханічних параметрів. Це підвищить надійність роботи ТД, зменшить енерго- і ресурсовитрати, пов'язані з відмовами ТД і їх ремонтом.

Таким чином, впровадження в практику нових методів і засобів визначення реальних післяремонтних параметрів ТД з обліком експлуатаційних і ремонтних ушкоджень, а також режимів роботи тягового двигуна в експлуатації, що створені на основі теоретичних розробок даної дисертаційної роботи, дозволяє кваліфікувати її як актуальну, спрямовану на вирішення важливої науково-технічної задачі удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів рухомого складу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає цілям Державної програми «Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту і міського господарства» (Постанова Кабінету Міністрів України № 769 від 2 червня 1998 року) та «Концепцією реструктуризації на залізничному транспорті України» (від 1998 року), комплексній проблемі НАН України «Наукові основи електроенергетики», напрямку науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України – Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі і включені до плану бюджетних НДР Міністерства освіти і науки України, «Розробка і впровадження післяремонтної й експлуатаційної діагностики електричних двигунів в умовах електроремонтного цеху НПЗ», (№ДР010U005792, м. Кременчук 2003),

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів шляхом застосування теоретичних методів та практичних засобів ідентифікації їх параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові задачі:

- провести аналіз причин виходу з ладу, процесу ремонту та існуючих методів і засобів визначення параметрів тягових двигунів постійного струму рухомого складу;
- розробити математичну теплову модель тягових двигунів постійного струму, дослідити теплові режими останніх, оцінивши вплив та взаємовплив їх параметрів на умови нагрівання, як окремих складових, так і двигунів в цілому;
- сформулювати та сконструювати алгоритм випробувань ТД, пакет прикладних програм для ЕОМ, для ідентифікації параметрів і післяремонтної паспортизації тягових двигунів рухомого складу;
- обґрунтувати і експериментально підтвердити ефективність запропонованих методів і засобів по удосконаленню післяремонтних випробувань тягових двигунів постійного струму рухомого складу.

Об'єкт дослідження – процес ідентифікації параметрів тягових двигунів постійного струму рухомого складу.

Предмет дослідження – параметри тягових двигунів постійного струму після їхнього ремонту.

Методи дослідження. Методи виконання досліджень включають: методи теорії ймовірностей і математичної статистики; методи Фур'є та аналітичні методи досліджень; математичне моделювання на основі формалізації досліджуваних процесів і розробки математичних моделей; загальну теорію електричних кіл, метод простору станів, а також натурні експерименти й фізичне моделювання з метою практичної перевірки результатів теоретичних досліджень і прийнятих технічних рішень.

Наукова новизна одержаних результатів роботи:

- вперше для удосконалення післяремонтних випробувань ТД рухомого складу обґрунтовано та формалізовано необхідність застосування методів ідентифікації післяремонтних параметрів ТД, з занесенням останніх в базу даних, з метою оцінки технічного стану ТД в процесі експлуатації. На відміну від існуючих статичних методів, дані методи дозволяють автоматизувати процес післяремонтних випробувань ТД рухомого складу;
- вперше виконано аналіз і встановлено аналітичні залежності рівня впливу зміни параметрів ТД після ремонту на параметри живлячої мережі, а також зроблена оцінка

взаємовпливу розходження параметрів тягових двигунів постійного струму при роботі на загальне навантаження, що в свою чергу при встановленні ТД на один локомотив, дасть можливість підбирати ідентичні ТД не тільки за їх параметрами, а і за електромеханічними характеристиками;

- подальшого розвитку набув метод простору станів для визначення післяремонтних електромеханічних параметрів за перехідними характеристиками ТД, застосування якого на відміну від відомих можливо як для тягового так і гальмівного режимів;
- розроблено та формалізовано математичну теплову модель ТД рухомого складу, використання якої дозволяє визначити рівень зміни номінального струму стосовно паспортного значення, в функції післяремонтних параметрів ТД, що на відміну від відомих моделей дозволить прогнозувати номінальну навантажувальну здатність ТД;
- обгрунтовано тактику та сформульовано алгоритм удосконалення методики післяремонтних випробувань ТД, що дозволяє фіксувати та оцінювати технічні параметри останніх в післяремонтних періодах експлуатації рухомого складу.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані теоретичні результати покладені в основу удосконалення існуючої системи післяремонтних випробувань і розробки принципово нових універсальних теоретичних та практичних заходів для збільшення інформатизації та автоматизації існуючої системи післяремонтних випробувань ТД рухомого складу.

Теоретичні дослідження, виконані в роботі, покладені в основу:

- методики побудови структури післяремонтного паспорта ТД рухомого складу;
 - алгоритму і прикладних програм ЕОМ для визначення номінальних експлуатаційних параметрів ТД після ремонту;
 - розробки алгоритмів і програмного забезпечення ЕОМ для удосконалення післяремонтних випробувань ТД рухомого складу;
 - розробки програмного комплексу для станцій оцінки параметрів і післяремонтної паспортизації ТД рухомого складу;
 - розробки і створення стенда для післяремонтної оцінки параметрів ТД рухомого складу;
- Результати теоретичних досліджень використані:

- при розробці лабораторних вимірювально-діагностичних комплексів для паспортизації тягових електричних машин постійного струму на кафедрі систем автоматичного керування і електропривода Кременчуцького державного політехнічного університету (м. Кременчук);

- при розробці проекту та впровадження станції для діагностики тягових двигунів постійного струму рухомого складу в ДП НВК «Електровозобудування» (м. Дніпропетровськ);
- при впровадженні в практику роботи ТОВ ВО «Індустріал-сервіс» (м. Нікополь) для випробування електричних двигунів постійного струму.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, які виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: [1] – наукове обґрунтування необхідності проведення досліджень у галузі післяремонтних випробувань тягових двигунів рухомого складу; [2] – аналіз існуючих методів визначення післяремонтних параметрів тягових двигунів та наукове обґрунтування проблеми побудови комплексу оцінки параметрів тягових двигунів рухомого складу; [3] – оцінка існуючих методів ідентифікації електромеханічних параметрів тягових двигунів, обґрунтування та формалізація необхідності застосування методу простору станів для ідентифікації післяремонтних параметрів ТД; [4] – побудова математичної теплової моделі тягового двигуна постійного струму і аналіз отриманих результатів; [5] – розробка методики і алгоритму ідентифікації електромеханічних параметрів тягових двигунів постійного струму при післяремонтних випробуваннях; [6] – визначення післяремонтного номінального струму тягових двигунів постійного струму при післяремонтних випробуваннях; [7] – визначення впливу пульсацій напруги живлення тягових двигунів постійного струму на ідентифікацію їх параметрів; [8] – експериментальне визначення параметрів двигунів постійного струму і аналіз отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми рейкового транспорту» (Крим) 2003р.; міжнародній науково-технічній конференції кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств “Транспортні коридори – стратегія і тактика розвитку” 2003, 2004, 2005 р.р. (м. Харків); всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук) 2004, 2005р.; міжнародна науково-практична конференція «Наука в транспортному вимірі» (м. Київ) 2005р.; міжнародна науково-практична конференція «Удовлетворение потребностей населения в пассажирских перевозках – неотъемлемая составляющая часть плана социально-экономического развития больших городов» (м. Харків).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на XV-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (19-23 вересня, 2005р, Крим) та на

розширеному засіданні кафедри “Системи електричної тяги” Української державної академії залізничного транспорту (2005 рік).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані у восьми статтях в фахових виданнях та у тезах міжнародних конференцій.

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи містить 185 сторінки, з них обсяг основного тексту 114. Робота ілюстрована 54 рисунками, наведено 5 таблиць, вісім додатки на 37 сторінках та 115 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи і показаний її зв'язок з науковими програмами, сформульована мета й основні наукові та практичні задачі дослідження, приведені наукові положення, що виносяться на захист, відмічені наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, а також рівень апробації результатів роботи, показано кількість публікацій за темою і особистий внесок автора.

У **першому розділі** подано аналіз сучасного стану аналізованої проблеми. Виконано статистичний аналіз експлуатаційної надійності ТД постійного струму. Побудовано середнє напрацювання на відмову ТД за роками експлуатації, показано співвідношення виходу з ладу ТД, які пройшли стадію ремонту в залежності від пробігу (рис. 1 – 2).

Аналіз статистичних даних відмов ТД підтверджує факт, що 15-20% ТД рухомого складу, котрі вийшли з ладу припадає на перший період їх роботи, так званий період припрацювання, що у свою чергу вказує на недосконалість технології і відповідно низької якості ремонту та малоефективних методів випробувань на нагрів, оскільки більший відсоток відмов припадає на замикання (коротке) в обмотках якорів.

Аналіз системи ремонту показав, що витягання котушок (секцій) з пакета сталі якоря, приводить до істотної зміни характеристик якорних обмоток і порушення їх цілісності.

У результаті підвищуються питомі втрати в сталі відремонтованого ТД. Крім того, в умовах електроремонтних підприємств для перемотування часто застосовують мідь обмоток, що використовувались в ТД раніше. Її виймають з пазів, звільняють від ізоляції, вирівнюють і за шаблоном роблять нові секції. Перед цим мідь піддається термічній обробці для очищення і розм'якшення. Багаторазові термічні впливи змінюють структуру і параметри (опір) міді.

Таким чином, невірноваженість в підході до технології ремонту ТД приводить до:

- збільшення втрат в пакеті сталі якоря ТД;

- зміни електричного опору секцій "нової" обмотки (як правило опір, при використанні міді "старої" обмотки збільшується);
- перерозподілу енергетичних втрат у ТД і зміні його ККД (в бік погіршення);
- зміни теплового режиму ТД (в бік збільшення сталої температури перегріву, якщо при цьому не модернізується система вентиляції ТД);

Тобто, можна стверджувати, що з ремонту виходить ТД, який вимагає визначення його нових параметрів, технічних характеристик і паспортних даних.

Аналіз післяремонтних випробувань ТД показав, що вимірювання відомими способами деяких параметрів ТД (наприклад, електричний опір обмоток якоря, температура якірної обмотки) виконується не досить точно, а визначення основних електроенергетичних характеристик ТД, взагалі не виконується.

Зроблено аналіз зміни параметрів ТД (активний опір якірного кола, індуктивність якірного кола, коефіцієнт потоку,), що впливають на передачу енергії між мережею живлення і валом ТД.

Вплив зміни параметрів тягового двигуна після ремонту на напругу якоря було досліджено двома способами:

- 1) з використанням функції чутливості:

$$S_b^{\Psi} = \frac{\partial \Psi}{\partial b} \frac{b}{\Psi},$$

де b – параметр, вплив якого визначається;

Ψ – функція, для якої визначається ступінь впливу параметра b .

- 2) оцінка відносно початкового стану:

$$S_{\Psi} = \frac{\Psi - \Psi_{\text{баз}}}{\Psi_{\text{баз}}},$$

де Ψ – значення функції при поточному значенні параметру b .

$\Psi_{\text{баз}}$ – значення функції при базовому (номінальному) значенні параметру b .

Функції чутливості для статичного режиму:

- а) чутливість до зміни опору обмотки якоря:

$$S_R^U = \frac{I_{\dot{y}}(R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}})}{I_{\dot{y}}(R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}}) + k\Phi\omega}; \quad (1)$$

$$S_R^I = \frac{-U_{\dot{y}} + k\Phi\omega}{(R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}})^2} \cdot \frac{(R_{\dot{y}} + R_{\dot{a}})^2}{U - k\Phi\omega} = -1; \quad (2)$$

В другому розділі дисертації розглядаються методи післяремонтних випробувань тягових двигунів, як одна з форм ідентифікації електромеханічних параметрів ТД постійного струму.

Встановлено, що основними недоліками існуючих систем післяремонтних випробувань, що використовуються на електроремонтних підприємствах є:

- відсутність інформації для повної ідентифікації електромеханічних параметрів ТД, що при такому підході до післяремонтних випробувань приведе до повторних ремонтів, особливо в тих умовах, коли тягові двигуни, працюють при послідовно-паралельному з'єднанні і в результаті чого здійснюють значний вплив один на одного;
- системи навантаження статичного типу не дають повної інформації про післяремонтний стан тягового двигуна, насамперед, режим статичного навантаження не відповідає реальним експлуатаційним режимам, тому статичне навантаження не дає уявлення про стан ТД при реальних режимах;
- велика площа і металоємність станцій навантаження, що пояснюється необхідністю установки фундаментних плит, допоміжних електричних машин і т.п.

Зроблена оцінка взаємовпливу розходження параметрів тягових двигунів постійного струму при послідовно-паралельному з'єднанні, при роботі на загальне навантаження, що дозволило встановити наступне:

- вплив зміни активного опору якірної обмотки ТД на $\pm 50\%$ при послідовному їх з'єднанні, приводить до нерівномірності навантаження двигунів по напрузі на $+15\dots-25\%$, а при паралельному до нерівномірності струмового навантаження двигуна з незмінними параметрами на $\pm 12\%$, нерівномірність завантаження другого двигуна $+25\dots-60\%$;
- вплив зміни індуктивності якірного кола на $\pm 50\%$ приводить до нерівномірності струму та напруги на якорі ТД на $\pm 15\%$;
- вплив зміни коефіцієнта потоку на $\pm 50\%$ на струмове навантаження ТД при паралельному їх з'єднанні, приводить до нерівномірності навантаження ТД з незмінними параметрами на $\pm 10\dots 15\%$ від номінального, а навантаження другого ТД може складати $+25\dots-60\%$; вплив зміни коефіцієнта потоку на $\pm 50\%$ на падіння напруги на обмотках ТД при послідовному з'єднанні ТД складає $\pm 35\%$.

Значна нерівномірність по струму якоря ТД приводить до нерівномірності обертового електромагнітного моменту.

Зміна параметрів ТД, працюючих на загальне навантаження, приводить до зміни постійних часу кола якоря. Постійні часу змінюються пропорційно величині зміни параметрів. При значних відхиленнях параметрів відбувається зміна характеру перехідного процесу

($T_M > 4T_{\Sigma}$ - аперіодичний, $T_M < 4T_{\Sigma}$ - коливальний), що повинна враховувати система керування ТД.

Також запропоновано структуру комплексної системи ідентифікації параметрів ТД, яка дасть можливість оперативно оцінювати зміну параметрів в процесі експлуатації і при поточному ремонті, що дозволить розпізнати несправність у початковій стадії її виникнення і вжити заходів по усуненню дефектів, а також створити базу даних для організації технічного обслуговування і ремонту по фактичному технічному стану ТД рухомого складу.

Другий розділ також присвячений еквіполентуванню та вибору методів ідентифікації. Розглянуті та тезисна проаналізовані методи ідентифікації динамічних об'єктів (систем) припускають ту чи іншу можливість спостереження об'єкта по каналах вхід – вихід. Оскільки замість вхідних сигналів, що відповідають нормальному режиму роботи, вимагаються спеціальні сигнали, то очевидно, що ці методи припускають ідентифікацію поза процесом нормального функціонування динамічних об'єктів, а саме тягових двигунів, що вказує на необхідність застосування додаткових приладів для формування даних вхідних сигналів.

Тому для підвищення якості і автоматизації випробувань тягових двигунів, в умовах електроремонтних підприємств, бажано застосовувати методи ідентифікації, які дозволяють визначати електромеханічні параметри тягових двигунів при робочих алгоритмах функціонування останніх.

Як показали дослідження, в найбільшій мірі основним вимогам до методів ідентифікації, зазначеним вище, задовольняє метод простору станів, який базується на знанні миттєвих значень змінних стану тягових двигунів (сигналів струму, напруги, миттєвої потужності в силових колах ТД, частоти обертання) які одержують живлення від імпульсних перетворювачів напруги.

Як об'єкт ідентифікації, тяговий двигун постійного струму послідовного збудження являє собою складну систему, стан якої в експлуатації визначається по обмеженому числу вхідних і вихідних параметрів. Вихідні параметри, які можна достатньо легко визначити в умовах експлуатації є напруга, струм, частота обертання.

Живлення ТД здійснюється від імпульсного перетворювача електричної енергії. Для аналізу застосуємо матричний метод. При цьому лінійна система ТД описується наступним векторним рівнянням стану:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (7)$$

Таким чином шукані матриці мають вигляд:

$$A = \begin{vmatrix} \frac{R}{L} & \frac{k\phi}{L} \\ \frac{k\phi}{J} & 0 \end{vmatrix} - \text{матриця стану}; \quad B = \begin{vmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} \end{vmatrix} - \text{матриця управління};$$

$$U = \begin{vmatrix} U_a \\ M_c \end{vmatrix}; \quad X = \begin{vmatrix} i_a \\ \omega \end{vmatrix}; - \text{матриці вхідних та вихідних впливів.}$$

Перетворюючи вищенаведені рівняння отримаємо рекурентні формули, якими визначається зв'язок між двома послідовностями вектора стану X на інтервалі ΔT у вигляді:

$$R = \frac{\Delta T}{2} [AQ + BU] \quad (8)$$

де матриці:

$$R = (X_{n+1} - 2X_n + X_{n-1}); \quad Q = X_{n+1} - X_{n-1}; \quad U = U_{n+1} - U_{n-1}.$$

Відкіля, матриця стану визначається:

$$A = \left(\frac{2}{\Delta T} R - BU \right) Q^{-1} \quad (9)$$

Подальший розвиток цей метод отримав в напрямку ідентифікації не тільки динамічних, як показано рядом авторів, але і статичних параметрів зокрема активного опору R . Це стає можливим завдяки врахуванню реальної форми випрямленої напруги на виході перетворювача. В цьому випадку змінні стану матриці вхідних впливів $U \neq const$, що розширює можливість визначення параметрів матриці стану A .

Таким чином матриця стану визначається за формулою:

$$A = \frac{2}{\Delta T} \left(\begin{vmatrix} i_{n+1} - 2i_n + i_{n-1} & i_{n+2} - 2i_{n-1} + i_n \\ \omega_{n+1} - 2\omega_n + \omega_{n-1} & \omega_{n+2} - 2\omega_{n-1} + \omega_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_{n+1} - u_{n-1} \\ M_{Cn+1} - M_{Cn-1} \end{vmatrix} \right) \times \\ \times \begin{vmatrix} i_{n+1} - i_{n-1} & i_{n+2} - i_n \\ \omega_{n+1} - \omega_{n-1} & \omega_{n+2} - \omega_n \end{vmatrix}^{-1} \quad (10)$$

Вирішуючи рівняння (10) одержимо:

$$L_e = \frac{\Delta T}{2} \cdot \frac{k\phi(q_{12}q_{21} - q_{11}q_{22}) - q_{12}u_{11} + q_{11}u_{12}}{q_{11}r_{12} - q_{12}r_{11}} \quad (11)$$

$$R_e = \frac{k\phi(q_{22}r_{11} - q_{21}r_{12}) - r_{11}u_{12} + r_{12}u_{11}}{q_{11}r_{12} - q_{12}r_{11}} \quad (12)$$

$$J = \frac{\Delta T}{2} \cdot k\phi \frac{q_{12}q_{21} - q_{11}q_{22}}{r_{22}q_{21} - r_{21}q_{22}} \quad (13)$$

де r_{ij}, q_{ij}, u_{ij} - коефіцієнти матриць R, Q, U ;

R_e, L_e - еквівалентні активний опір і індуктивність якірного кола,

J - приведений момент інерції електроприводу.

Результати теоретичних досліджень електромеханічних параметрів ТД отриманих по пусковим характеристикам з використанням отриманих рівнянь (11-13) були виконані для ТД типу ДК117Д вагону метрополітену.

Теоретичні дослідження визначення параметрів тягових електродвигунів за пусковими характеристиками дозволяють визначати активний і індуктивний опір якірного кола ТД з відносною похибкою відповідно: +1,2 – -2,41 та +0,3 – -0,02%.

Випробування ТД методами динамічного навантаження з застосуванням методів ідентифікації електромеханічних параметрів ТД забезпечує спрощення процесу випробувань, його прискорення і підвищення достовірності за рахунок отримання аналітичних залежностей параметрів від вимірюваних даних. Зокрема, важливою стає проблема автоматизації випробувань, застосування швидкодіючих керуючих і обчислювальних комплексів на основі ЕОМ.

У третьому розділі приведено аналіз втрат і розподіл енергії в ТД. Втрати енергії розрізняються по своїй фізичній природі, місцю локалізації і режиму роботи ТД, при якому вони виникають. При цьому сумарні втрати для ТД двигунів постійного струму, виготовлених заводом-виготовлювачем, з однаковою номінальною потужністю, можна вважати приблизно однаковими, що не можна сказати про ТД, які пройшли стадію ремонту. Це пояснюється різними причинами: порушеннями в шихтованій сталі якоря, зміною параметрів обмоток і т.д. Тому на практиці виникає реальна задача по визначенню значень втрат по їх видах. Особливо гостро ця проблема стоїть перед електроремонтними підприємствами, яким необхідно крім того, щоб дати оцінку про якість ремонту, спромогтися визначити в якому режимі і на яку потужність повинна працювати машина з гарантією того, що вона не вийде з ладу протягом визначеного гарантійного терміну.

Таким чином, на тепловий режим роботи ТД впливають наступні змінювані в процесі ремонту параметри: опір обмоток кола якоря; опір обмотки збудження; коефіцієнт втрат у сталі; клас ізоляції; тип щіток і їхнє натискання на колектор; якість поверхні колектора.

При побудові теплової моделі розглядалися суміжні зубці і пазова частина обмотки якоря між ними, а також сегмент осердя пакета сталі якоря, що знаходиться під цією групою зубців, загальна структура теплової схеми сегмента якоря представлена на рис. 6. Просторова теплова модель сегмента якоря приведена на рис. 7,8.

$$\Delta P_{кз1.i} = \Delta P_{кз2.i} = \frac{\Delta P_{кз}}{2ZN} - \text{втрати в коронці одного зубця};$$

$$\Delta P_{з1.i} = \Delta P_{з2.i} = \frac{\Delta P_{з}}{2ZN} - \text{втрати в сталі одного зубця};$$

$$\Delta P_{m.i} = \frac{\Delta P_m}{Z} - \text{втрати в сталі сегмента осердя якоря};$$

$$\Delta P_{i.i} = \frac{\Delta P_i (1 - k_{\ddot{e}})}{ZN} - \text{втрати в міді одного паза};$$

де $\Delta P_{кз}$ – втрати в сталі коронок зубців; $\Delta P_{з}$ – втрати в сталі зубців; ΔP_m – втрати в тілі пакета сталі якоря; ΔP_{m} – втрати в пазовій міді обмотки якоря; $k_{\ddot{e}}$ – коефіцієнт лобової частини обмотки.

Теплові опори мають наступні позначення: $R_{в.кз}$ – опір ділянки «коронка зубця – повітря»; $R_{в.м}$ – опір ділянки «повітря – активна мідь паза»; $R_{з.м}$ – опір ділянки «сталь зубця – активна мідь паза»; $R_{з.м}$ – опір ділянки «сталь зубця – сталь сектора осердя»; $R_{m.m} = R_{з.м}$ – опір «активна мідь паза – сталь сектора осердя»; $R_{m.m}$ – опір при теплопередачі від міді одного елемента до міді іншого елемента по довжині провідника; $R_{с.с}$ – опір при теплопередачі від сталі одного елемента до сталі іншого елемента по довжині провідника;

Аналіз теплової схеми виконується матричним методом при цьому рішення системи рівнянь (матриця температура) має вигляд:

$$\Theta = -\Lambda^{-1}P \quad (14)$$

де Λ – матриця теплових провідностей;

P – матриця потужності втрат і тепловіддачі до повітря в зазорі.

Для визначення післяремонтного номінального струму необхідно реформувати теплове рівняння (14) таким чином, щоб в матриці P розташовувалися компоненти з відомою температурою і потужністю втрат, а в матриці Λ – теплові провідності вузлів.

$$\lambda_{M,1}\theta_1 + \dots + \lambda_{M,i}\theta_i + \Delta P_{i+1} + \lambda_{M,i+2}\theta_{i+2} + \dots + \lambda_{M,M}\theta_M + \Delta P_{M+1} + \Delta P_{M+2} =$$

$$\Delta P_M + \theta_{возд}\lambda_{0,M} + \theta_n(\lambda_{M,i+1} + \dots + \lambda_{M,M+1} + \lambda_{M,M+2}); \quad (15)$$

$$\lambda_{M+2,1}\theta_1 + \dots + \lambda_{M+2,i}\theta_i + \Delta P_{i+1} + \lambda_{M+2,i+2}\theta_{i+2} + \dots + \lambda_{M+2,M}\theta_M + \Delta P_{M+1} + \Delta P_{M+2} =$$

$$\Delta P_{M+2} + \theta_{\text{гозо}} \lambda_{0,M+2} + \theta_n (\lambda_{M+2,i+1} + \dots + \lambda_{M+2,M+1} + \lambda_{M+2,M+2}); \quad (16)$$

де θ_n – припустима температура ізоляції.

Матриці λ_i , λ_{i+2} містять теплові провідності, пов'язані зі сталлю зубців і осердя якоря. Матриці λ_{i+1} містять теплові провідності, пов'язані з міддю обмотки якоря. Матриця λ_M містить теплові провідності, пов'язані із осердям якоря. Матриці λ_{M+1} , λ_{M+2} містять теплові провідності, пов'язані з лобовими частинами обмотки якоря.

В результаті вирішення системи рівнянь визначаються:

$$\theta_1, \dots, \theta_i, \Delta P_{i+1}, \theta_{i+2}, \dots, \theta_M, \Delta P_{M+1}, \Delta P_{M+2},$$

де θ_i – температури зубців, коронок зубців тіла якоря;

ΔP_{i+1} – втрати в міді елементів обмотки якоря в пазу;

ΔP_{M+1} , ΔP_{M+2} – втрати в міді елементів лобової частини обмотки якоря.

Для визначення післяремонтного номінального струму необхідно задатися допустимою температурою пазової ізоляції і з урахуванням потужності втрат в сталі визначити потужність втрат в міді, які і будуть відповідати цій температурі.

Рішення системи рівнянь (15, 16) дозволяє визначити допустимі втрати в кожному елементі пазової частини обмотки якоря. Для запобігання перегріву локальних ділянок ізоляції в якості допустимого значення потужності втрат в елементі обмотки $\Delta P_{m,n}$ приймається мінімальне з отриманих значень:

З отриманого значення потужності $\Delta P_{m,n}$ визначається післяремонтний номінальний струм:

$$I_{ня} = \sqrt{\frac{\Delta P_m}{R_x \left(\frac{1 + \alpha \theta_n}{1 + \alpha \theta_x} \right) k_n}} \quad (17)$$

де R_x – опір обмотки якоря в холодному стані;

α – температурний коефіцієнт опору;

k_n – коефіцієнт, що враховує вплив пульсації струму;

θ_x – температура холодного стану.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням ідентифікації електромеханічних параметрів електроприводу постійного струму, а також встановленню рівня ефективності удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів рухомого складу.

Для реалізації процедури випробувань ТД проаналізовано також вплив пульсацій напруги живлення на ідентифікацію електромеханічних параметрів. Результати моделювання процесу ідентифікації параметрів ТД постійного струму при різному типі перетворювача в якірному колі (з різною кількістю пульсацій на період $m=2, 3, 6, 12$) підтвердив факт, що

найбільш ефективним являється використання імпульсного перетворювача електричної енергії з пульсністю $m=6$. Ідентифікація електромеханічних параметрів приводить до найбільш достовірних результатів при малих частотах (до 300 Гц) і значних амплітудах пульсації (50-60 В) напруги живлення.

На рис. 9, 10. наведені фрагменти експериментальних характеристик пуску електроприводу, де $U(t)$ - напруга на виході випрямляча, В; $U_1(t), U_2(t)$ - напруга на якорях двигунів, В; $I_d(t)$ - струм якірнього кола, А

У розділі обґрунтовано вибір діагностичного устаткування (аналого-цифровий перетворювач, комп'ютерне устаткування та інше).

Комп'ютеризований випробувальний комплекс являє собою сукупність технічних і програмних засобів, що дозволяють проводити визначення реальних параметрів ТД за розробленою методикою, і забезпечує:

- формування силових керуючих впливів;
- вимір миттєвих значень струму і напруги в процесі випробувань електричної машини;
- отримання результатів діагностики для аналізу і подальшої систематизації;
- створення бази даних для ведення обліку ТД, що проходять процедуру ідентифікації і паспортизації, їх до ремонтних і післяремонтних станів, у тому числі техніко-економічних показників (вартість, гарантійний термін, енергетичні показники).

Структурна схема комплексу, рис. 11, відрізняється простотою, що визначається наявністю мікропроцесорної системи, що виконує функції керування і контролю, а також дозволяє значно полегшити проведення випробувань і відмовитися від дорогої реєструючої апаратури.

Висновки

У дисертації вирішено наукову задачу удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів шляхом застосування теоретичних методів та практичних засобів ідентифікації їх параметрів. Результати математичного моделювання з використанням ЕОМ і експериментальні дослідження в лабораторних умовах підтвердили основні теоретичні положення, сформульовані в роботі. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз статистичних даних відмов ТД, який підтверджує факт, що 15-20% ТД рухомого складу, виходять з ладу в перший період їх роботи, так званий період припрацювання, що у свою чергу вказує на недосконалість технології і відповідно

низьку якість ремонту та малоефективні методи випробувань на нагрівання, оскільки більший відсоток відмов припадає на замикання (коротке) в обмотках якоря;

2. Запропоновано структуру комплексної системи ідентифікації параметрів ТД, яка дає можливість оперативно оцінювати зміну параметрів в процесі експлуатації і при поточному ремонті, що дозволить розпізнати несправність у початковій її стадії і вжити заходів по усуненню дефектів, а також створити базу даних для організації технічного обслуговування і ремонту по фактичному технічному стану ТД рухомого складу;
3. Вплив зміни активного опору якірної обмотки ТД на $\pm 50\%$ при послідовному їх з'єднанні, приводить до нерівномірності навантаження двигунів по напрузі на $+15\% - 25\%$, а при паралельному до нерівномірності струмового навантаження двигуна з незмінними параметрами на $\pm 12\%$, нерівномірність завантаження другого двигуна $+25\% - 60\%$. Вплив зміни індуктивності якірного кола на $\pm 50\%$ приводить до нерівномірності струму та напруги на якорі ТД на $\pm 15\%$. Зміна коефіцієнту потоку на $\pm 50\%$ на струмове навантаження ТД при паралельному їх з'єднанні, приводить до нерівномірності навантаження ТД з незмінними параметрами на $\pm 10\% - 15\%$ від номінального, а навантаження другого ТД може складати $+25\% - 60\%$; вплив зміни коефіцієнта потоку на $\pm 50\%$ на падіння напруги на обмотках ТД при послідовному з'єднанні ТД складає $\pm 35\%$ падіння напруги;
4. Для удосконалення ефективності ідентифікації параметрів ТД теоретично обґрунтована і доопрацьована методика оцінки електромеханічних параметрів за квазіперехідними характеристиками, яка дозволяє визначити активний і індуктивний опір якірного кола ТД з відносною похибкою відповідно: $+1,2 - 2,41\%$ та $+0,3 - 0,02\%$;
5. Розроблена і обґрунтована математична теплова модель ТД, використання якої дозволило визначити, що з ростом додаткових електроенергетичних втрат в якорі, які притаманні ТД після їх ремонтів, спостерігається випереджаючий ріст температури ізоляції пазової частини обмотки якоря в порівнянні з її лобовими частинами. При збільшенні додаткових втрат енергії на $1-2,5$ Вт, температура по довжині якоря збільшується на $10-15\%$;
6. Обґрунтований теоретично метод визначення післяремонтного номінального струму ТД з урахуванням додаткових втрат енергії, в післяремонтних періодах їх експлуатації, котрим характерна зміна (відхилення) номінального струму якоря в порівнянні з до ремонтним, дозволяє прогнозувати пакет додаткових заходів, щодо зниження робочої температури ТД;

7. Сформульовано та сконструйовано алгоритм випробувань ТД, пакет програмного забезпечення ЕОМ для ідентифікації параметрів і післяремонтної паспортизації ТД. Обґрунтована і розроблена структура комплексу паспортизації ТД після ремонту. Експериментально підтверджено ефективність запропонованих методів і засобів по удосконаленню післяремонтних випробувань ТД, в ході лабораторних досліджень та в промислових умовах;
8. Отримані результати та практичні розробки дозволили отримати соціальний та економічний ефект – 23349,2 грн., що підтверджено Актами впровадження;
9. Результати досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, запропоновані й впроваджені в навчальному процесі в Українській державній академії залізничного транспорту та Кременчуцькому державному політехнічному університеті і використовуються при викладанні курсів «Тягові електричні машини» та «Системи тягового автоматизованого електроприводу»;
10. Сформульовані в дисертаційній роботі наукові положення, рекомендації й висновки, є обґрунтованими, базуються на теоретичному аналізі, коректній постановці розв'язуваних наукових завдань, апробацією основних наукових положень, отриманих результатів на міжнародних конференціях.

Основні наукові положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Сінчук О.М., Сушко Д.Л. До проблеми побудови комплексної, безперервної системи діагностики тягових електричних машин рухомого складу // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2003 – №9(67). – С. 25-28.
2. Сінчук О.М., Сушко Д.Л. До питання тактики створення системи технічного діагностування тягових електричних двигунів електрорухомого складу // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2004 – №8(78), Ч.1. – С. 242-245.
3. Сінчук О.М., Сушко Д.Л. Тактика підходу до створення комплексної системи діагностування тягових електродвигунів електрорухомого складу // Залізничний транспорт України. 2005 – Спец. випуск 3/1. – С. 99-102.
4. Сінчук О.М., Сушко Д.Л. Побудова математичної теплової моделі тягового електричного двигуна постійного струму // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.

- Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2005 – №8(90), Технічні науки. Серія Транспорт. Ч.2. – С. 50-54.
5. Синчук О.Н., Сушко Д.Л. Методика и алгоритм диагностирования технического состояния тяговых электродвигателей постоянного тока ЭПС // Вестник НТУ «ХПИ». Серия “Электротехника, электроника и электропривод”. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005 – Вып. 45. – С. 432-436.
 6. Сінчук О.М., Сушко Д.Л. Визначення номінального струму тягових електродвигунів постійного струму в післяремонтних експлуатаційних режимах // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №4. – С. 81-83.
 7. О влиянии пульсаций напряжения питания тяговых электрических двигателей постоянного тока на идентификацию их параметров / Синчук О.Н., Хараджан А.А., Сушко Д.Л., Лозовой Д.Ю. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005 – 1/2 (13). – С. 86-89.
 8. Артеменко А.Н., Сушко Д.Л. Экспериментальные исследования и определение параметров электропривода постоянного тока // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 2/2005 (31). – С. 33-36.

Анотація

Сушко Д.Л. Удосконалення післяремонтних випробувань тягових двигунів рухомого складу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2006.

Зроблено аналіз надійності ТД за статистичними даними та системи ремонту і післяремонтних випробувань ТД.

Запропоновано структуру комплексної системи ідентифікації параметрів ТД, яка дасть можливість оперативно оцінювати зміну параметрів в процесі експлуатації і при поточному ремонті, що дозволить розпізнати несправність у початковій її стадії і вжити заходів по усуненню дефектів, а також створити базу даних для організації технічного обслуговування і ремонту по фактичному технічному стану ТД рухомого складу.

Теоретично досліджений та обґрунтований вплив зміни параметрів ТД на живильну мережу.

Для удосконалення ефективності ідентифікації параметрів ТД теоретично обґрунтована і доопрацьована методика оцінки електромеханічних параметрів за пусковими

характеристиками.

Розроблена і науково обґрунтована математична теплова модель ТД. Теоретично обґрунтований метод визначення післяремонтного номінального струму ТД з урахуванням додаткових втрат, які притаманні післяремонтному періоду ТД.

Обґрунтовано і розроблена структура комплексу паспортизації ТД після ремонту. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення ЕОМ для ідентифікації параметрів і післяремонтної паспортизації ТД

Ключові слова: тяговий двигун, надійність, технічний стан, ідентифікація, випробування, післяремонтна паспортизація.

Аннотация

Сушко Д.Л. Усовершенствование послеремонтных испытаний тяговых двигателей подвижного состава. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2006.

Проведен анализ статистических данных отказов ТД, которые подтвердили факт, что 15-20% ТД подвижного состава, выходят из строя в первый период их работы, так называемый приработочный период. Это в свою очередь указывает на несовершенство технологии и соответственно низкое качество ремонта и малоэффективные методы испытания на нагрев, поскольку больший процент отказов приходится на замыкание (короткое) в обмотках якоря. Анализ послеремонтных испытаний ТД показал, что измерение известными способами некоторых параметров ТД (например, электрическое сопротивление якоря, температура якорной цепи) выполняется не достаточно точно, а определение основных электроэнергетических характеристик ТД, вообще не выполняется.

Установлено, что основными недостатками существующих систем послеремонтных испытаний, которые используются на электроремонтных предприятиях, является:

- отсутствие информации для полной идентификации электромеханических параметров ТД, что при таком подходе к послеремонтным испытаниям приведет к повторным ремонтам, особенно в тех условиях, когда тяговые двигатели, работают при последовательно-параллельном соединении и в результате чего совершают значительное влияние друг на друга;
- системы нагружения статического типа не дают полной информации о послеремонтном состоянии тягового двигателя, данный режим не соответствует реальным

эксплуатационным режимам, поэтому статическое нагружение не дает представления о состоянии ТД в реальных режимах;

- большая площадь и металлоемкость станций нагружения, что объясняется необходимостью установки фундаментных плит, дополнительных электрических машин.

Предложена структура комплексной системы идентификации параметров ТД, которая дает возможность оперативно оценить изменение параметров в процессе эксплуатации и при текущем ремонте. Это в свою очередь, позволит распознать неисправность в начальной ее стадии и принять меры по устранению дефектов, а также создать базу данных для организации технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию ТД подвижного состава.

Теоретически исследовано влияние изменения параметров ТД на питающую сеть и взаимовлияние расхождения параметров тяговых двигателей постоянного тока при последовательно-параллельном их соединении и работе на общую нагрузку, что в свою очередь при установлении ТД на один локомотив, даст возможность подбирать идентичные ТД не только по их параметрам, а и по электромеханическим характеристикам.

Как объект идентификации, тяговый двигатель постоянного тока последовательного возбуждения, представляет собой сложную систему, состояние которой в эксплуатации определяется по ограниченному числу входных и выходных параметров. Выходные параметры, которые можно достаточно легко определить в условиях эксплуатации является напряжение, ток, частота вращения. Поэтому для усовершенствования эффективности идентификации параметров ТД теоретически обоснована и доработана методика оценки электромеханических параметров по квазипереходным характеристикам, которая позволяет определять активное и индуктивное сопротивление якорной цепи ТД с относительной погрешностью соответственно: $+1,2 - -2,41\%$ та $+0,3 - -0,02\%$. Результаты теоретических исследований электромеханических параметров тяговых двигателей, полученных по пусковым характеристикам с использованием полученных уравнений, были выполнены для ТД типа ДК117Д вагона метрополитена.

Установлено, что на тепловой режим работы ТД влияют следующие изменяемые в процессе ремонта параметры: сопротивление обмоток якорной цепи, сопротивление обмотки возбуждения, коэффициент потерь в стали, класс изоляции, тип щеток и их давление на коллектор, качество поверхности коллектора. Для исследования тепловых режимов тяговых двигателей после ремонта, оценки влияния и взаимовлияния параметров на условия нагревания ТД, как отдельных составляющих, так и двигателей в целом разработана и научно обоснована математическая тепловая модель ТД. Использование разработанной тепловой модели, позволило определить, что с ростом дополнительных электроэнергетических потерь в якоре,

которые присущи ТД после их ремонта, наблюдается опережающий рост температуры изоляции пазовой части обмотки якоря в сравнении с ее лобовыми частями.

При увеличении дополнительных потерь энергии на 1-2,5 Вт, температура по длине якоря увеличивается на 10-15%. По усовершенствованной тепловой модели, теоретически обоснован метод определения послеремонтного номинального тока ТД с учетом дополнительных потерь энергии, в послеремонтных периодах их эксплуатации, которым характерны изменения (отклонение) номинального тока якоря в сравнении с до ремонтным, позволяет прогнозировать пакет дополнительных мер, по снижению рабочей температуры ТД.

Сформулирован и сконструирован алгоритм испытания ТД, пакет программного обеспечение ЭВМ для идентификации параметров и послеремонтной паспортизации ТД. Обоснована и разработанная структура комплекса паспортизации ТД после ремонта.

Экспериментально подтверждено эффективность предложенных методов и средств по усовершенствованию послеремонтных испытаний ТД, в ходе лабораторных исследований и в промышленных условиях.

Ключевые слова: тяговый двигатель, надежность, техническое состояние, идентификация, испытания, послеремонтная паспортизация.

Abstract

Sushko D. L. Improvement postrepair tests of traction engines of a rolling stock. – Manuscript.

The dissertation on reception of engineering science candidate scientific degree. The speciality is 05.22.07 – Railway rolling-stock and trains traction. - Ukrainian state academy of railway transport, Kharkov, 2006.

The analysis of reliability TE on statistical data and systems of repair and postrepair tests is made. The structure of complex system of identification of parameters TE which will enable operatively is offered to estimate change of parameters while in service and at operating repair which will allow to distinguish malfunction in its initial stage and to take measures on elimination of defects, and also to create a database for the organization of maintenance service and repair on actual technical condition TE of a rolling stock.

Mathematical thermal model TE is developed and scientifically proved. The method of definition postrepair rated current TE in view of additional losses which are inherent postrepair in period TE is theoretically proved and modified.

It is proved and the developed structure of a complex of certification TE after repair. The algorithm and the software of the computer is developed for identification of parameters and postrepair certification TE

Keywords: the traction engine, reliability, a technical condition, identification, tests, postrepair certification.