

УДК 629.42:621.3

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ

Д-р техн. наук В.С. Блиндюк

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОММУТАЦИИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

Д-р техн. наук В.С. Блиндюк

### ANALYSIS OF METHODS AND CONTROL FACILITIES OF QUALITY OF SWITCHING OF TRACTION ENGINES OF LOCOMOTIVES

Doct. of techn. Sciences V.S. Blinduk

*Проведений аналіз існуючих методів та засобів контролю якості комутації електричних машин постійного струму. Показане, що причиною більшості ушкоджень локомотивів є відмовлення електроустаткування в цілому і, зокрема, тягових електродвигунів. У зв'язку із цим існує завдання одержання потоку діагностичної інформації про їхній технічний стан.*

**Ключові слова:** тяговий двигун, якість комутації, методи контролю, реакція якоря, ступінь іскріння.

*Проведен анализ существующих методов и средств контроля качества коммутации электрических машин постоянного тока. Показано, что причиной большинства повреждений локомотивов есть отказы электрооборудования в целом и, в частности, тяговых электродвигателей. В связи с этим существует задача получения потока диагностической информации об их техническом состоянии.*

**Ключевые слова:** тяговый двигатель, качество коммутации, методы контроля, реакция якоря, степень искрения.

*The statistical analysis of the locomotives given on refusals which are in operation, shows that refusals of electric equipment in general and, in particular, traction electric motors are the reason of the majority of their damages. It is shown that in electric motors of a direct current of damage of windings as anchor, and excitation, physical shifts of brushes from a neutral, and also mechanical damages of a collector inevitably lead to distortion of the main magnetic flux and, as a result, - to deterioration of conditions of switching in comparison with rated. It follows from this that numerical characteristics of process of switching of electric motors of a direct current are*

*connected with their technical condition in general, and switching quality control certainly is necessary for implementation of technical diagnostics.*

**Keywords:** traction engine, quality of switching, control methods, reaction of an anchor, extent of sparking.

**Вступ.** Статистичний аналіз даних по відмовленнях локомотивів, що знаходяться в експлуатації, показує, що причиною більшості ушкоджень є відмовлення електроустаткування в цілому і, зокрема, тягових електродвигунів (ТЕД). При цьому в даний час на залізничному транспорті проблема вдосконалення систем технічного обслуговування та ремонту тягових двигунів локомотивів вирішується недостатньо. У зв'язку з цим існує задача удосконалення методів і засобів контролю якості комутації електричних машин постійного струму та упорядкування потоку діагностичної інформації про їхній технічний стан.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В електродвигунах постійного струму ушкодження обмоток як якоря, так і збудження, фізичні зміщення вузлів (наприклад, зміщення щіток з нейтралі) неминуче призводять до перекручування магнітного поля (і головного магнітного потоку) і, як наслідок, – до погіршення умов комутації в порівнянні з розрахунковими. Таким чином, чисельні характеристики процесу комутації пов'язані з технічним станом електродвигуна постійного струму в цілому, і їхній контроль безумовно необхідний для технічної діагностики таких двигунів. У літературі [1-6] класифікують методи оцінки комутації так им чином: візуальний, фотографічний, радіоперешкодовий, заснований на комутаційній реакції якоря, заснований на вимірюванні ступеня іонізації повітря навколощіткового простору.

**Основна частина дослідження.** Візуальний метод оцінки комутації застосовується, якщо комутація супроводжується видимим іскрінням. Відповідно до Держстандарту 183-74 [3] ступінь іскріння визначають по іскрінню під краєм щітки, що збігає, при цьому розрізняють п'ять ступенів  $1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 2$  і  $3$ . Як правило, у номінальному режимі роботи

ступінь іскріння електродвигуна не повинен перевищувати  $1\frac{1}{2}$  [1]. Крім факторів, пов'язаних із зовнішніми стосовно колектора вузлами, ступінь іскріння визначається ще і порушеннями контакту між щітками і колектором, викликаними нерівностями і боєм колектора, виступом окремих колекторних пластин і (чи) ізолюючих прокладок, поганим пришліфуванням, заїданням чи вібрацією щіток та ін. Граничним випадком іскріння є коловий вогонь на колекторі, що виникає при сильних порушеннях комутації [7]. При візуальній оцінці комутації іноді застосовують метод світлового клина, відповідно до якого ступінь іскріння визначають, ґрунтуючись на оптичній щільності застосовуваного світлофільтра [1]. Ступінь іскріння також можна визначити за фотографією ділянки, що іскрить.

Фотоелектричний метод оцінки комутації заснований на застосуванні фотодатчика, вихідний сигнал якого підсилюють і подають на реєструючий прилад [1]. При цьому фотодатчики кріплять у безпосередній близькості від щіток, що вимагає вживання заходів щодо їх захисту від вібрацій і надлишкового тепла, що надходить від вузлів двигуна. Повинно бути також виключене засвічування датчиків зовнішніми джерелами світла.

Комутація електродвигунів приводить також до появи електромагнітного вимірювання із широким спектром частот. Так, відповідно до діючої нормативної документації, при контролі нових чи відремонтованих електродвигунів напругу у радіополіях у живильній мережі і напруженість поля радіоперешкод варто заміряти за магнітною складовою - у діапазоні  $0,15...30$  МГц, за електричною складовою – у діапазоні  $30...30$  МГц [8]. Недоліками радіоперешкодного методу оцінки комутації є залежність рівня радіоперешкод від частоти обертання

двигуна і від зовнішніх радіополів, що можуть надходити через живильну мережу [1].

Широко розповсюдженим є метод оцінки комутації, заснований на вимірюванні комутаційної складової напруги на колекторі. Він базується на тому допущенні, що амплітуда цієї напруги пропорційна ступеню іскріння [6.9-11].

При цьому методі напругу знімають з різнополярних щіток. Перший спосіб вимагає ефективної реєкції зворотних, зубчатих і колекторних пульсацій до подачі досліджуваної напруги на вимірювальний прилад. Цю реєкцію виконують за допомогою високочастотної [10-12] чи смугової [9] фільтрації; в обох випадках нижня частота зрізу фільтра становить 15 кГц, що дозволяє ефективно відняти складові некомутаційного походження. Комутаційна складова має вигляд коротких різнополярних імпульсів, полярність яких визначається недо- або перекомутацією складової секції обмотки якоря [12], що забезпечує додаткову інформативність оцінки комутації. Другий спосіб (з використанням допоміжної щітки) не поступається першому в інформативності і, більш того, дозволяє безпосередньо прив'язати поточне вимірювання з конкретною секцією якоря [12]. Однак його застосування вимагає попереднього препарування двигуна, що не завжди можливо. Результати вимірювань, виконаних обома способами, мало чутливі до впливу зовнішнього електромагнітного поля. Описаний метод реалізований у ряді контрольно – вимірювальних приладів [12].

Відхилення комутації від прямолінійної призводить до появи додаткової складової реакції якоря – комутаційної [7]. Змінне магнітне поле цієї складової створює імпульсний магнітний потік у головних полюсах двигуна, який може бути виділений різними засобами, найбільш простими з яких є спеціальні вимірювальні обмотки на головних полюсах двигуна [1].

Слід також зазначити принципову можливість оцінки комутації по зовнішньому електромагнітному полю

електричного двигуна; даний напрямок знаходиться в початковій стадії розробки [5,13,14,18].

Ще один метод контролю комутації, заснований на вимірюванні ступеня іонізації повітря в навколощітковому просторі [9], не знайшов до теперішнього часу широкого застосування через складності в його реалізації.

Можна констатувати, що контроль комутації одним чи відразу декількома методами дає досить велику кількість інформації про стан колекторних електричних двигунів.

Для діагностики асинхронних електродвигунів вищевказаний контроль неприйнятний принципово (за винятком оцінки ступеня іскріння на контактних кільцях двигунів з фазним ротором). Такі аварійні й аномальні режими їхньої роботи, як внутрішні короткі замикання, обриви фаз статора, симетричне і несиметричне перевантаження [7,8,19,20], затягування пуску, заклинювання ротора та інші, при контролі двигуна по ланцюгу живлення практично нерозрізновані. Однак контроль струмів фаз статора дозволяє діагностувати сам факт наявності настільки несприятливих режимів, а роздільний контроль активної і реактивної складової струму статора дозволяє в ряді випадків відрізнити тимчасовий аномальний режим від режиму роботи з ушкодженням.

Повертаючись до ланцюга живлення електродвигуна постійного струму, відзначимо важливість для його усталеної роботи відсутності биттів і деформацій колектора і наявності досить гладкого профілю останнього. Відповідно до Держстандарту 2582-81Е [15], величина биття колекторів тягових двигунів магістральних електровозів і тепловозів на нагрітій машині не повинна перевищувати 0,04 мм при різниці між биттям у холодному і гарячому стані не більше 0,02 мм. В даний час контроль биттів, як правило, роблять у процесі випробувань після препарування двигуна. Для одержання розгорнення профілю колектора використовують ємнісні або індуктивні датчики, що змінюють свій

параметр у залежності від величини зазора між датчиком і поверхнею колектора.

Механічні властивості колектора в значній мірі визначаються статикою і динамікою тиску щіток на нього. Як відзначено в роботі [9], існує оптимальне притискне зусилля, при якому перехідне спадання напруги на щітках уже досить мале (тобто малі електричні втрати струмознімання), а механічний знос щіток і колектора прийнятний, причому цей стимул індивідуальний для кожної марки щіток. Вимір статичного тиску щітки виконують за допомогою динамометра. Більш універсальні пристрої, у яких механічні зусилля за допомогою безінерційних датчиків перетворюються в електричні величини, як, наприклад, в описаному в тій же роботі датчику, у якому використаний зворотний магнітострикційний ефект. Перевагою таких пристроїв є забезпечена ними можливість безупинного контролю тиску на щітки, у тому числі й у процесі експлуатації двигуна.

Ще однією проблемою, пов'язаною з щітково-колекторним вузлом, є контроль положення щіток щодо геометричної нейтралі]. Зсув щіток з геометричної нейтралі призводить до істотного погіршення умов комутації двигуна. Положення траверси, на якій укріплений щіткотримач, може бути проконтрольоване безпосередньо, але цей спосіб вимагає застосування додаткових датчиків. Більш досконалим є описаний у [9] спосіб, при якому на обмотку збудження двигуна подаються прямокутні імпульси напруги (тривалість імпульсу біля 30 мкс), а вихідна напруга знімається з різнополярних щіток. Несиметрія позитивної і негативної напівхвиль вихідної напруги говорить про зсув щіток з нейтралі, а різниця амплітуд цих напівхвиль майже прямо пропорційна величині цього зсуву, причому знак різниці визначає напрямком зсуву. Пристрій, що реалізує цей спосіб, за своїми масогабаритними і функціональними характеристиками, може бути включений в комплекс вмонтованих засобів діагностування технічного стану локомотива.

Підшипники є одним з найбільш слабких місць тягових електродвигунів. Цей механічний вузол працює при великих частотах обертання, великих перемінних навантаженнях і великих температурних перепадах. Часто відбувається неточне збирання підшипникових вузлів, а також порушення технології при їхньому монтажі [9]. Через це відбуваються перегрів або руйнування підшипникових вузлів, росте опір кочення і сковзання, що веде до механічних ударів у підшипниках і навіть до їх заклинювання. Ще одним несприятливим фактором є старіння змащення, його забруднення в процесі експлуатації, а також застосування невідповідного сорту мастила. Відповідно перерахованим факторам для діагностування підшипникових вузлів застосовуються віброакустичний метод, аналіз складу мастила і вимір опору обертанню.

У відповідальних механізмах датчики вібрацій можуть бути поставлені на корпуси всіх підшипників. Такими датчиками є: п'єзоелектричні, індукційні, індуктивні й ємнісні віброперетворювачі [16]. При діагностуванні враховують, що підшипникові вузли різних типів мають різні віброакустичні спектри нормального режиму. Це вимагає індивідуального підходу до діагностування різних типів цих вузлів і, в остаточному результаті, до рішення задачі розпізнавань «віброакустичних образів» підшипникового вузла в нормальному й аномальному режимах. Цим методом удається діагностувати також стан мастильного матеріалу в робочій зоні підшипників. Однак їхнє застосування для постійного контролю (наприклад, на шляху проходження) представляється проблематичним. З часом стан мастила погіршується, що приводить до збільшення цього опору.

Вимір опору обертанню також важко виконати безпосередньо на локомотиві в процесі його експлуатації.

Найбільш реальним способом його оцінки служить вимір часу вибігу, тобто часу, що пройшов від моменту відхилення попередньо розігнаного двигуна до моменту його повної зупинки [9]. Цей спосіб може

бути реалізований тільки при технічному обслуговуванні або ремонті.

Істотна діагностична інформація може бути отримана і при дослідженні віброакустичного спектра ТЕД у цілому [16]. Це інформація, насамперед, про механічні ушкодження, невірноваженість обертових частин, ослаблені посадки обмоток (наприклад, через усихання ізоляції), про знос валів і підшипникових вузлів і т.ін. Тут також має місце задача розпізнавання «віброакустичних образів» справного ТЕД і ТЕД, що містить ті чи інші несправності або відхилення характеристик. Додаткова інформація для рішення цієї задачі може

бути отримана з датчиків динамічних інформацій вузлів. Ці датчики являють собою дротові, фольгові або напівпровідникові тензорезистори [16]. При цьому слід зазначити, що віброакустичний контроль і контроль динамічних деформацій цілком реалізовані безпосередньо в процесі експлуатації електродвигуна, причому в комплексі з іншими засобами діагностики. Такий підхід реалізований японською фірмою *Mire Denki* для контролю і діагностування електродвигунів постійного струму [17] (рис. 1).

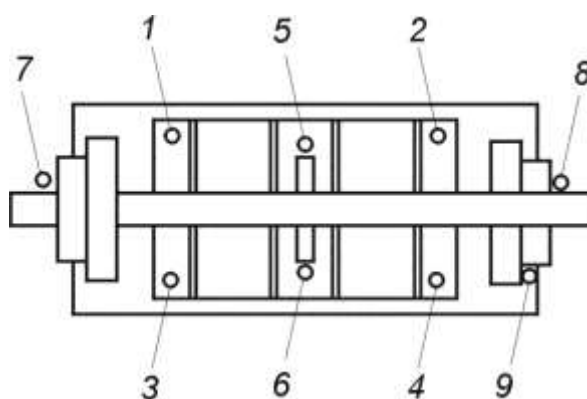


Рис. 1. Розташування датчиків комплексної системи контролю електродвигуна постійного струму:

- 1, 2 – датчики контролю зносу щіток;
- 3, 4 – датчики контролю іскріння щіток;
- 5 – датчики контролю температури обмотки якоря;
- 6 – датчик контролю обертаючого моменту;
- 7, 8 – датчики контролю осьового навантаження ротора;
- 9 – датчик контролю зсуву ротора від упора

Примітно, що контроль зносу щіток у даній системі дозволяє їхнє використання до повного зносу. Датчик температури обмотки якоря виконаний у вигляді вмонтованого в якір термометра, знімання інформації з якого здійснюють телеметричним способом. У системі вимірюють також піковий обертаючий момент, що виникає при подачі імпульсного навантаження (конкретно – при введенні листа в прокатний стан, у приводі якого встановлений двигун, що діагностують). Обертаючий момент визначають або за обмірюваною деформацією вала, або за різницею кутів закручування вала. Телеметричний обсяг

інформації при цьому здійснюють за допомогою обертових трансформаторів. Осьовий зсув вала вимірюють за допомогою індуктивних безконтактних датчиків; ця інформація надходить в ЕОМ, що розраховує швидкість і прискорення цього зсуву і порівнює їх з нормальними умовами роботи вала, закладеними в пам'ять ЕОМ. Контролює також упорні підшипники, для чого використовують динамічні тензометри, виявляючи в такий спосіб підвищення навантаження, обумовлене аномальними умовами роботи.

**Висновок.** Діагностування ТЕД у даний час і на найближчу перспективу

вимагає оптимального поєднання контролю. Така стратегія діагностування безупинного і дискретного (періодичного) забезпечить перехід від регламентного і контролю найбільш інформативних календарного технічного обслуговування до параметрів ТЕД, при цьому кращим є більш ефективного технічного використання вмонтованих засобів обслуговування за фактичним станом ТЕД.

### Список літератури

1. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. - М.: Высш. школа, 1988. - 232 с.
2. Блиндюк, В.С. Визначення ступеня іскріння тягових електродвигунів моторвагонного рухомого складу [Текст] / В.С. Блиндюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2012.- № 6 (97). - С. 63-69.
3. ГОСТ 183-74 Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования.
4. Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Демченко О.Ф. Прогнозующий контроль параметров тяговых двигунів локомотивів. Частина 1. Методика прогнозуючого контролю // Міжвуз. зб. наук. пр. - Вип.42. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - С.5-15.
5. Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Давиденко М.Г. Електромагнітні методи контролю якості комутації тягових двигунів локомотивів // Міжвуз. зб. наук. пр. - Вип.44. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - С.9-12.
6. Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Давиденко М.Г., Соболев Ю.В. До оцінки ступеня іскріння на колекторі тягових двигунів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - №5. - С.78-80.
7. Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1978. - 832 с.
8. Гольденберг О.Д. Испытания электрических машин. - М.: Высшая школа, 1990. - 254 с.
9. Волков В.К., Суворов А.Г. Повышение эксплуатационной надежности тяговых двигателей. - М.: Транспорт, 1988. - 128с.
10. Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Давиденко М.Г., Соболев Ю.В. Математическая модель процесса коммутации электрических машин постоянного тока // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2000. - №5. - С.80-83.
11. Бабаев М.М., Блиндюк В.С., Давиденко М.Г., Соболев Ю.В. Математическая модель процесса коммутации электрических машин постоянного тока. Часть 2. Оценка параметров модели // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - №2. - С.112-115.
12. Прибор для диагностики и определения уровня искрения машин постоянного тока по сигналу с разнополярных щеток (ИИ-РП) / М.Ф. Карасев, А.В. Сазонов, В.А. Серегин, В.И. Тимошина // Комутация в тяговых электродвигателях и других коллекторных машинах: Науч. тр. Омского ин-та ж.-д. тр.-та. - Том 164. - Омск: ОмИИТ, 1975. - С. 63-68.
13. Блиндюк, В.С. Синтез оптимального приймача іскрової компоненти струму тягового двигуна [Текст] / В.С. Блиндюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2013.- № 1. - С. 82-88.
14. Бабаев М.М., Блиндюк В.С. Экспериментальное исследование искрения машин постоянного тока // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - №4. - С.102-107.
15. ГОСТ 2582-81Е. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические требования.
16. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Вибродиагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987. - 288с.
17. Антипов В.Н., Мартикастен Р.П., Остинская И.В. Двигатели постоянного тока в современном электроприводе // Электротехническая промышленность. Серия 01.

Электрические машины. Обзорная информация. – Вып. 26. – М.: Информэлектро, 1989. – 36с.

18. Блиндюк, В.С. Вплив процесу комутації на часову структуру струму живлення тягових двигунів електропоїздів [Текст] / В.С. Блиндюк // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 133. – С. 357-372.

19. Соболев Ю.В. Теорія електричних і магнітних кіл [Текст] / Ю.В.Соболев, М.М.Бабаєв, М.Г.Давиденко, - Харків: ХФВ «Транспорт України». – 2002. 264с.

20. Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики [Текст]: підручник / М.М. Бабаєв, М.Г.Давиденко, Г.І. Загарій, Ю.В. Соболев, В.С. Блиндюк, О.М. Прогонний, О.М. Ананьєва, К.А. Трубочанінова: підручник. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 608 с.

---

*Блиндюк Василь Степанович, д-р техн. наук, професор кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту, Харків, Україна. Тел.: (057) 730-10-03.*

*Vasiliy Blinduk., Doktor of Engineering, professor department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Tel.: (057) 730-10-03.*

**Стаття постуила 08.09.2015**