

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ШАПОВАЛОВ АНДРІЙ В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 621.313.281

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ
ЕЛЕКТРОВОЗІВ**

Спеціальність 05.22.09 – електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дубинець Леонід Вікторович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України,
завідувач кафедри автоматизованого електроприводу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Браташ Віктор Олександрович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України,
професор-консультант кафедри локомотивів;

кандидат технічних наук, професор
Іванов Олексій Борисович,
Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України, м. Дніпропетровськ,
професор кафедри електричних машин, декан факультету електроенергетики.

Захист відбудеться «__» _____ 2010 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
Автореферат розісланий «__» _____ 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.820.01,
д.т.н., професор



М.О. Костін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В експлуатації завжди стоїть питання про підвищення працездатності тягових електродвигунів (ТЕД). Згідно ГОСТ 27.002-89 працездатність визначають як стан виробу, при якому він спроможний виконувати задані функції з параметрами, що встановлені вимогами технічної документації (стандартами, технічними умовами і т.п.).

ТЕД електровозів працюють в надзвичайно складних умовах і для забезпечення їх працездатності при всіх стаціонарних і динамічних процесах, які можливі під час експлуатації, потрібен комплекс заходів для забезпечення стійкості двигуна проти дугоутворення на колекторі, оскільки власне дугоутворення на колекторі є фактором, який обмежує експлуатаційне використання електровозу. Одним із основних заходів у вказаному комплексі є забезпечення при всіх режимах роботи ТЕД належної якості комутації, під якою розуміють ступінь іскріння під щіткою згідно ГОСТ 2582-81. Іскріння під щітками та іонізація при цьому колекторної камери є одним із факторів утворення дуги на колекторі. Ефективним засобом покращення якості комутації, тобто покращення працездатності ТЕД, є застосування додаткових полюсів.

Аналіз за декілька останніх років відмов електровозів по залізницях України показує, що значний відсоток несправностей приходить на тягові двигуни. У свою чергу, значний відсоток відмов ТЕД обумовлено їх неякісною комутацією. Загальна кількість випадків заходу електровозів на позаплановий ремонт по мережі залізниць України у 2005 році по причині несправності ТЕД склала 18,91%, у 2006 році – 20,85%, у 2007 році – 20,32%. У депо Козятин Південно-західної залізниці за 2006-2007 роки відбулося 308 непланових замін електродвигунів НБ-418к6 електровозів ВЛ80^р, з них 3% по причині неякісної комутації. В ТЧ Мукачево за 2006-2007 роки доля виходу з ладу тягових двигунів ТЛ2К по причинах пов'язаних з неякісною комутацією дорівнює 5%.

Досвід експлуатації показує, що для забезпечення гарантії якості ступінь іскріння не повинна перевищувати 1¼ бали. Усунення результатів неякісної комутації, обслуговування колекторного вузла, заміна щіток тощо коштують 20...25% від вартості нового ТЕД за рік.

Враховуючи вищевикладене, а також практику продовження терміну служби ТЕД, постає задача знаходження нових методів підвищення якості комутації тягових двигунів електровозів. В конструкторській документації геометричні розміри елементів магнітного кола додаткових полюсів мають певні допуски (відхилення) відносно їх номінальних розмірів. Аналіз технічної літератури, технічної документації та інших джерел показує відсутність детальних досліджень з метою визначення впливу значень цих відхилень, їх сумарної дії на якість комутації, тобто на працездатність тягового електродвигуна при всіх режимах його роботи. Особливо відчувається відсутність вказаних досліджень при необхідності кількісної оцінки цього впливу під час перехідних процесів, викликаних зміною напруги живлення, а також під час перевантажень. Дана дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу відхилень геометричних розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації. У

зв'язку з вищевикладеним тема дисертації є актуальною в галузі електричного транспорту. Її виконання є доцільним з точки зору підвищення працездатності ТЕД електрорухомого складу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Робота виконана у відповідності з постановою Кабінету Міністрів України “Про заходи державної підтримки залізничного транспорту”, щорічними координаційними планами НІОКР “Укрзалізниця”, концепцією і програмою реструктуризації на залізничному транспорті України, які підтверджені рішеннями колегії міністерства транспорту та зв'язку України відповідно 18.06.1997 р. (протокол №14) і 18.08.1998 р. (протокол №30).

Обраний напрямок досліджень пов'язаний з виконанням науково-дослідних робіт в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна: “Увеличение межремонтного пробега тягового двигателя ЭД-118А после выполнения капитального ремонта в объеме КР2 с восстановлением размеров” (№ держреєстрації 0107U006732), “Виконання робіт по створенню системи випробувань тягових електричних машин”(№ держреєстрації 0108U003888).

Мета роботи. Метою роботи є підвищення працездатності тягових двигунів електровозів у сучасних умовах роботи залізниць України шляхом покращення якості комутації за рахунок встановлення раціональних відхилень на геометричні розміри деталей тягових двигунів постійного та пульсуючого струму під час їх виготовлення та ремонту.

Задачі досліджень.

1. Проаналізувати стан проблеми комутації ТЕД з урахуванням специфічних умов роботи електрифікованих залізниць.
2. Вибрати критерій для визначення якості комутації з урахуванням поставленої мети та сучасних умов експлуатації.
3. Дослідити вплив відхилень параметрів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень на якість комутації при:
 - номінальних режимах роботи двигунів;
 - експлуатаційних перевантаженнях двигунів;
 - експлуатаційних перехідних режимах роботи двигунів з урахуванням вихрових струмів та динамічного характеру індуктивностей у колі якоря.
4. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження розроблених рекомендацій.

Об'єкт досліджень – процеси виготовлення та ремонту тягових двигунів електрорухомого складу залізниць України.

Предмет досліджень – якість комутації в залежності від відхилень параметрів тягових електродвигунів електровозів від їх номінальних значень при виготовленні та ремонті.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених у дисертації задач застосовано: математичне моделювання для дослідження якості комутації в різних режимах роботи ТЕД з використанням чисельного метода Рунге-Кутта-Фелберга, оцінка впливу відхилень геометричних розмірів елементів ТЕД за критерієм комутації по А. Б. Іоффе; методи теорії імовірностей, математичної

статистики та теорія розмірних кіл для дослідження величин відхилень геометричних параметрів ТЕД. Обробку статистичних даних та теоретичних досліджень проводили з допомогою сучасних персонально-обчислювальних машин. Використання вищевказаних достовірних теорій та методів, дослідження за допомогою математичних моделей із застосуванням сучасної комп'ютерної техніки підтверджують достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у роботі.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено метод, який вперше передбачає отримання фактора іскріння з урахуванням впливу відхилень геометричних параметрів елементів магнітного кола додаткових полюсів, а також теоретичне визначення цих відхилень на базі статистичних даних з використанням теорії розмірних кіл, що дає можливість більш точно визначити якість комутації при різних експлуатаційних режимах роботи тягових двигунів електровозів.
2. Вперше для всіх видів експлуатаційних режимів діючих двигунів постійного та пульсуючого струмів електровозів отримано раціональні (з точки зору якості комутації), зменшені в порівнянні з відхиленнями, вказаними на кресленнях, значення відхилень. Отримано залежність ступеня іскріння від значень відхилень повітряних зазорів магнітного кола додаткових полюсів у порівнянні з номінальними зазорами, що дає можливість сприяти покращенню комутації в процесі зборки двигунів, тобто підвищенню працездатності тягових двигунів електровозів.
3. Дістали подальший розвиток методи оцінки впливу відхилень повітряних зазорів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації при перехідних процесах під час короткочасної втрати живлення з допомогою розробленої математичної моделі, яка відрізняється від відомих моделей тим, що враховує вплив динамічного характеру індуктивності у якірному колі двигунів на процес комутації. Це дозволяє більш точно провести оцінку якості комутації під час перехідних процесів.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Покращити працездатність тягових двигунів електровозів під час їх експлуатації, що сприяє підвищенню економії витрат на позапланові ремонти електровозів та їх обслуговування.
2. Звернути увагу підприємств по виготовленню та ремонту тягових електродвигунів на дотримання розмірів та деталей з урахуванням рекомендацій, отриманих в результаті проведених автором досліджень.

Результати досліджень впроваджені на ВАТ “Науково-виробниче підприємство “Смілянський електромеханічний завод” (ВАТ НВП СЕМЗ, м. Сміла), Державному підприємстві “Науково-виробничий комплекс “Електровозобудування” (ДП “НПО “ДЕВЗ”, м. Дніпропетровськ), у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Особистий внесок здобувача. Мета роботи сформульована разом з науковим керівником. Задачі дослідження, наукові положення, теоретичні та експериментальні дослідження виконані автором самостійно. Крім цього, в публіка-

ціях, в яких відображено основні результати дисертації та які написані у співавторстві, здобувачу належать: [1, 3, 4] – кількісний метод розрахунку ступіня іскріння тягових двигунів в залежності від відхилень параметрів магнітного кола додаткових полюсів; [5, 7] – виявлення ступіня іскріння тягових двигунів при перехідних процесах з врахуванням відхилень параметрів магнітного кола додаткових полюсів а також з врахуванням режиму роботи двигуна при ослабленому збудженні; [6] – статистична оцінка впливу відхилень розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів на ступінь іскріння тягових двигунів електровозів. Роботи [3, 6] написані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати доповідались та отримали схвалення на наступних Міжнародних науково-технічних конференціях: “Проблемы развития рельсового транспорта” Крим, 2007 р.; “Транспортні зв’язки. Проблеми та перспективи”, Дніпропетровськ 2007 р., “Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика”, Харків, 2008 р.; “Транспортні зв’язки. Проблеми та перспективи” Дніпропетровськ 2008 р. В повному обсязі дисертація докладалась на загальному семінарі кафедр автоматизованого електропривода, електрорухомого складу залізниць, локомотивів, теоретичних основ електротехніки Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2009 р.

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 наукових працях у фахових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновків, переліку використаної літератури і дев’яти додатків. Основний текст роботи викладено на 157 сторінках. Дисертація містить 71 рисунок і 44 таблиці; рисунки і таблиці, розташовані на окремих сторінках, займають 24 сторінки. Список літератури з 112 найменувань приведений на 11 сторінках, додатки – на 53 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 210 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі досліджень, приведені основні наукові положення і результати, що винесені на захист, а також подано відомості про практичне значення результатів роботи, апробацію і публікації матеріалів досліджень.

У першому розділі показано сучасний стан досліджуваної задачі. Проведено аналіз вітчизняних та закордонних публікацій в галузі досліджень процесу комутації електричних машин і тягових електродвигунів електровозів. Як показує огляд літератури за темою дисертації, проведений автором, до теперішнього часу вплив відхилень на якість комутації в повній мірі ще не досліджено, особливо це відноситься до встановлення кількісних співвідношень впливу відхилень параметрів елементів тягового електродвигуна від їх номінальних значень на якість комутації при перехідних та несталих процесах.

Найбільш ефективним засобом покращення комутації є застосування додаткових полюсів (ДП). Тому автор розглядає вплив на якість комутації відхилень

геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних (альбомних) значень. Взаємозв'язок між граничними розмірами і допусками деталей і вузлів, які складаються, встановлено з допомогою розрахунків, основаних на теорії розмірних кіл.

Проаналізовано існуючі критерії оцінки якості комутації. З аналізу видно, що для визначення впливу вказаних відхилень на комутацію тягових електро-двигунів найбільш повно відповідає критерій А. Б. Іоффе. Це обґрунтовується тим, що при отриманні цього критерію, крім теоретичних досліджень, А. Б. Іоффе провів об'єм експериментальних робіт, який значно перевищує об'єми експериментальних робіт інших авторів. Це дуже важливо, так як підтвердження достовірності теоретичних досліджень таких явищ, як комутація машин постійного струму, в основному, обґрунтовується експериментальними даними. Крім того, формула за критерієм А. Б. Іоффе в найбільшій мірі сприяє вирішенню поставленої задачі (дослідженню впливу відхилень на якість комутації), так як вона включає в себе усі основні геометричні параметри елементів двигуна.

Зроблено висновок, що задача впливу відхилень елементів магнітного кола додаткових полюсів, особливо при перехідних режимах у силовому колі двигуна, розв'язана не повністю. Потрібно із застосуванням сучасних методів досліджень (розробка математичної моделі і т. д.) встановити кількісні співвідношення, які характеризують вплив вказаних відхилень при реальних експлуатаційних режимах на якість комутації, розробити відповідні рекомендації по покращенню процесу комутації.

Другий розділ присвячено дослідженню впливу відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів двигунів постійного та пульсуючого струму від їх номінальних значень на якість комутації при номінальних режимах роботи двигунів. З використанням розділів теорії імовірностей та математичної статистики встановлено кількісні співвідношення між параметрами, що визначають якість комутації, використання яких дозволяє визначити ступінь іскріння двигунів.

Фактор іскріння може бути визначено згідно нижченаведеної формули (1) з урахуванням впливу на цей фактор відхилень геометричних розмірів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень та відхилень від номінальних значень інших параметрів, які входять у формулу визначення $\hat{O}_s$.

$$\hat{O}_s = \left(\frac{40}{D_{\hat{E}}} \right)^{1,5} \frac{i_{\hat{A}}^2 \cdot L_{\hat{N}} \cdot v_{\hat{E}}}{2t_{\hat{E}} \cdot L_{\hat{U}}}, \quad (1)$$

де $i_{\hat{A}}$ – додатковий поперечний струм комутації, А; $D_{\hat{E}}$ – діаметр колектора, см; $L_{\hat{N}}$ – індуктивність секції, Гн; $v_{\hat{E}} = \pi D_{\hat{E}} n$ – швидкість обертання колектора, см/с; n – номінальна частота обертів якоря, об/с; $t_{\hat{E}}$ – колекторна поділка, см; $L_{\hat{U}}$ – довжина щіток одного щіткотримача, см.

Залежність між ступінню іскріння S та значенням $\hat{O}_s$ згідно досліджень А. Б. Іоффе, наведена на рис. 1.

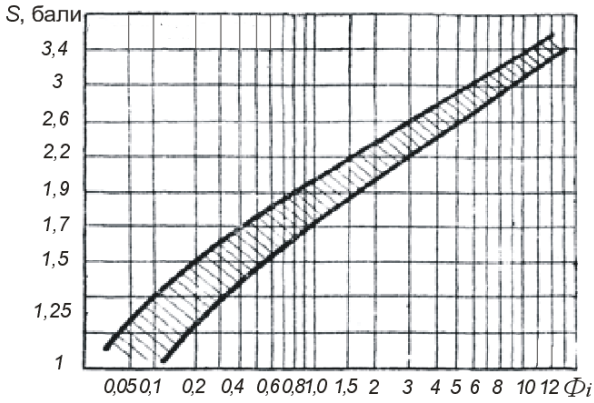


Рис. 1 – Залежність ступеня іскріння від фактору іскріння

Для розв'язання поставленої в дисертації задачі про вплив відхилень на якість комутації застосуємо поняття математичного очікування та дисперсії функції k -мірних незалежних випадкових величин. Залежність $\hat{O}_i$ від величин, які стоять в правій частині рівняння (1), можна розглядати як функцію k -мірних незалежних випадкових величин, яка сама буде також випадковою величиною. Дослідження автора показують, що вплив відхилень номінальних параметрів

$\bar{L}_N$, $\bar{t}_E$, $\bar{L}_U$, $\bar{D}_E$ незначний по відношенню до $\hat{O}_i$ і складає не більше одного відсотка у сумі в порівнянні з номінальним значенням фактора іскріння $\bar{O}_i$ при умові, що всі допуски складаються за принципом максимуму для L_N і мінімуму для t_E , L_U , D_E , виходячи з умови отримання максимального значення $\hat{O}_i$. Тому при дослідженнях вважається: $L_N \approx const$, $t_E \approx const$, $L_U \approx const$, $D_E \approx const$. Фактор іскріння з урахуванням відхилень параметрів для двигунів постійного струму пропонується записати у вигляді:

$$\hat{O}_i = \frac{40^{1.5} \left(\bar{x}_A \pm \bar{x}_A \cdot \sigma_{iA}^* \right)^2 \cdot \bar{L}_N \cdot \bar{n} \cdot \pi}{2\sqrt{\bar{D}_E} \cdot \bar{t}_E \cdot \bar{L}_U}, \quad (2)$$

Небалансова електрорушійна сила (ЕРС) Δe , що представляє собою залишкову величину взаємодії реактивної e_D та комутаційної e_E ЕРС, викликає додатковий поперечний струм комутації i_A .

$$i_A = \frac{\beta(e_D - e_E) + \hat{e}_D e_D}{R_U + \beta r_N}, \quad (3)$$

де $\beta = 1$ (для петльової обмотки); $\hat{e}_D$ – коефіцієнт, що враховує некомпенсовану частину реактивної ЕРС; R_U – опір контакту щітка-колектор для кола короткозамкненої секції, Ом; r_N – опір секції, яка комутує, В.

З урахуванням випадкових відхилень для двигунів постійного струму відносно відхилення додаткового поперечного струму комутації σ_{iA}^* запишеться:

$$\sigma_{iA}^* = \sqrt{\left(\frac{1}{\frac{\hat{a}_D}{\hat{a}_E} - 1 + \frac{\hat{a}_D \hat{e}_D}{\hat{a}_E}} \right)^2 \left(a_{\delta A}^2 \sigma_{\delta A}^2 + a_{\delta jA}^2 \sigma_{\delta jA}^2 \right)}, \quad (4)$$

де $\sigma_{\delta A}^*$, $\sigma_{\delta jA}^*$ – відносні допуски на величину «першого» та «другого» повітряних зазорів відповідно; $a_{\delta A}$, $a_{\delta jA}^2$ – відносна частина магнітного опору діль-

ниці «першого» зазору (між ДП та якорем) і «другого» зазору (між ДП та остовом) магнітного кола ДП відповідно.

В двигунах пульсуючого струму Δe може розглядатися як результат складання небалансових ЕРС, викликаних постійною та змінною складовими пульсуючого струму $\Delta e = \Delta e_{i \dot{i} \dot{N}} + \Delta e_{\dot{q}}$, де $\Delta e_{i \dot{i} \dot{N}} = e_{\dot{D}} - e_{\dot{E}}$, В.

Для двигунів пульсуючого струму вплив відхилень досліджено з урахуванням змінних складових, які визначались за методикою В. Е. Скобелева. Формула для визначення змінної складової має вигляд:

$$\Delta e_{\dot{q}} = e_{\dot{D}\dot{q}} + e_{\dot{E}\dot{q}} + e_{\dot{O}}. \quad (5)$$

Фактор іскріння з урахуванням відхилень параметрів для двигунів пульсуючого струму запишеться:

$$\hat{O}_s = \frac{40^{1,5} \left(\bar{\alpha}_{\dot{A}} \pm \bar{\alpha}_{\dot{A}} \cdot \sigma_{\dot{a}_{\dot{q}}} \right)^2 \cdot \bar{L}_{\dot{N}} \cdot \bar{n} \cdot \pi}{2 \sqrt{\bar{D}_{\dot{E}}} \cdot \bar{t}_{\dot{E}} \cdot \bar{L}_{\dot{U}}}, \quad (6)$$

де $\sigma_{\dot{a}_{\dot{q}}}^*$ – відносне відхилення $i_{\dot{A}}$ з урахуванням змінних складових.

Для двигунів пульсуючого струму $\sigma_{\dot{a}_{\dot{q}}}^*$ має вираз:

$$\sigma_{\dot{a}_{\dot{q}}}^* = \sqrt{\left(\frac{1}{\frac{\bar{a}_{\dot{D}\dot{q}}}{\bar{a}_{\dot{E}}} - 1 + \frac{\bar{a}_{\dot{D}\dot{q}} \bar{e}_{\dot{D}}}{\bar{a}_{\dot{E}}}} \right)^2 \left(a_{\delta_{\dot{A}}}^2 \sigma_{\delta_{\dot{A}}}^2 + a_{\delta_{\dot{j}}}^2 \sigma_{\delta_{\dot{j}}}^2 \right)}. \quad (7)$$

Застосування формул (1) – (7) дозволяє одержувати кількісні залежності впливу вказаних відхилень параметрів ТЕД на їх якість комутації.

Пропонується метод кількісного визначення впливу відхилень параметрів елементів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень на якість комутації двигунів постійного струму при номінальному струмі.

Алгоритм вказаного методу пропонується наступний.

1. Знаходять частину магніторушійної сили додаткового полюса $F_{\dot{E}}$, що створює магнітний потік зони комутації $\hat{O}_{\dot{E}}$.

2. Знаходять відносну частину магнітного опору «першого» та «другого» повітряних зазорів кола додаткового полюса.

3. Визначають:

- відносні відхилення «першого» та «другого» повітряних зазорів в порівнянні з номінальним (альбомним) значенням;
- відносне відхилення магнітного потоку зони комутації в порівнянні з номінальним значенням;
- відносне відхилення магнітної індукції в зоні комутації $B_{\dot{E}}$ в порівнянні з номінальним значенням;
- відносне відхилення комутаційної ЕРС $\hat{a}_{\dot{E}}$ у порівнянні з номінальним значенням;
- індуктивність секції $L_{\dot{N}}$, опір щіток $R_{\dot{U}}$ та опір секції $r_{\dot{N}}$ двигуна;
- відносне відхилення додаткового поперечного струму комутації в порів-

нянні з його номінальним розрахунковим значенням при різних відхиленнях параметрів елементів магнітного кола додаткових полюсів;

- значення фактору іскріння з врахуванням вказаних відхилень.

За допомогою залежності ступіня іскріння від фактору іскріння (рис.1) визначають ступінь іскріння для даного двигуна.

Алгоритм методу кількісного визначення впливу відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень на якість комутації двигунів пульсуючого струму відрізняється від наведеного алгоритму тим, що враховується дія змінних складових електрорушійних сил, які впливають на значення $\hat{O}_i$, і, як наслідок, на ступінь іскріння двигунів.

Проведено оцінку відхилень розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів на базі статистичного аналізу. На рис. 2 для прикладу показана гістограма замірів висоти ДП двигуна НБ-511. Встановлено, що розподіл геометричних розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів, який було отримано на базі статистичного аналізу, відповідає нормальному закону розподілу.

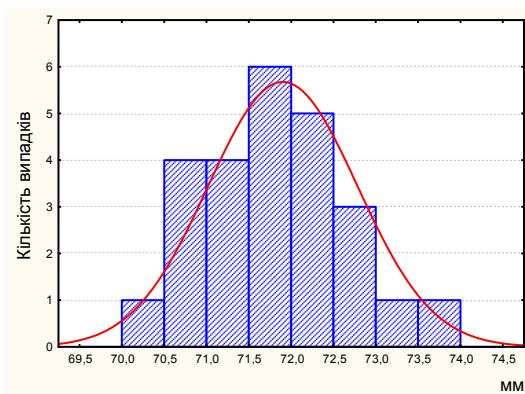


Рис. 2 – Гістограма висоти ДП двигуна НБ-511

З допомогою функції Лапласа знайдено імовірність відхилення нормально розподіленої величини відносно математичного очікування (номінального значення) даного параметру. На основі статистичних даних побудовано гістограми елементів магнітного кола додаткових полюсів різних типів тягових двигунів.

Згідно теорії розмірних кіл та ланок із застосуванням імовірнісного методу розрахунку розмірних кіл та методу максимум-мінімуму, встановлено граничні відхилення повітряних зазорів магнітного кола додаткових полюсів різних типів тягових двигунів на базі статистичних даних (табл. 1, табл. 2), при яких ступінь іскріння не перебільшує 1½ бали.

Таблиця 1

Результати розрахунків імовірнісним методом граничних відхилень повітряного зазору

Тип двигуна	Номінальний розмір зазору магнітного кола ДП, мм	Граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного зазору), мм	
		У меншу сторону	У більшу сторону
НБ-511	5	-0,076	+0,846
СТК-520	5	-0,406	+0,844
ЕД-141У1	5,75	-1,317	+1,933

Результати розрахунків методом максимум-мінімуму
відхилень повітряного зазору

Тип двигуна	Номинальний розмір зазору магнітного кола ДП, мм	Граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного зазору), мм	
		У меншу сторону	У більшу сторону
НБ-511	5	-2,93	+2,9
СТК-520	5	-1,65	+1,4
ЕД-141У1	5,75	-1,1	+3,2

Таким чином, показано вплив на ступінь іскріння відхилень параметрів кола додаткових полюсів при номінальному режимі та при наступних значеннях повітряного зазору під цими полюсами: зазору при умові, що геометричні розміри всіх елементів вказаного кола є номінальні (відхилення розмірів елементів

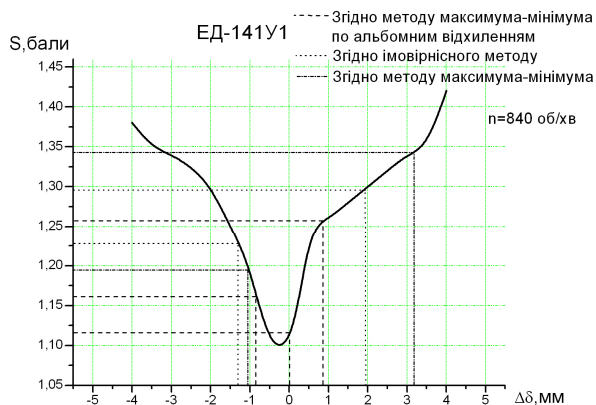


Рис. 3 – Залежність ступеня іскріння від значень відхилень при номінальному навантаженні двигуна постійного струму ЕД-141У1

дорівнює нулю); зазору, визначеному за методом максимум-мінімуму згідно альбомних даних для двигунів типів ЕД-141У1 (рис. 3), ДТК-800, НБ-406Б, НБ-507, НБ-418к6, НБ-412к, НБ-511 та СТК-520; імовірнісне значення зазору на базі статистичних даних для двигунів типів НБ-511, СТК-520 та ЕД-141У1; зазору, визначеному по методу максимум-мінімуму на базі статистичних даних для двигунів типів НБ-511, СТК-520 та ЕД-141У1.

Підтверджено, що при максимальних та мінімальних відхиленнях значень сумарних зазорів під додатковими полюсами відносно альбомних даних для двигунів постійного та пульсуючого струму при номінальних режимах іскріння не більше, ніж 1½ бала.

У третьому розділі розглядається вплив збільшення струму в якірних колах двигунів, яке може виникати в процесі експлуатації (наприклад збільшення вказаного струму в процесі зрушення з місця, переходу з однієї схеми з'єднання ТЕД на іншу, при виході електровозу з рівної ділянки шляху на підйом та ін.) на якість комутації з урахуванням відхилень параметрів тягових двигунів електровозів. При вказаних процесах струм у колі якоря збільшується в порівнянні з номінальним, що призводить до збільшення за рахунок $\dot{a}_b$ додаткового поперечного струму комутації i_A і, як наслідок, ступеня іскріння.

Реактивна ЕРС $\dot{a}_b$ збільшується пропорційно струму, що видно з формули визначення $\dot{a}_b$ методом Р. Ріхтера-М. Цорна:

$$\dot{a}_b = \frac{2}{3} \frac{I_\beta}{a} \frac{D_E}{b_i} \frac{n}{1000} \omega_c^2 \left[(4u') l_\beta (\lambda_T + \lambda_E) + 2\gamma \cdot 0,5 L_P \lambda_E \right] 10^{-4}, \quad (8)$$

де λ_T , λ_E , λ_P – коефіцієнт магнітної провідності паза, коронок зубців та

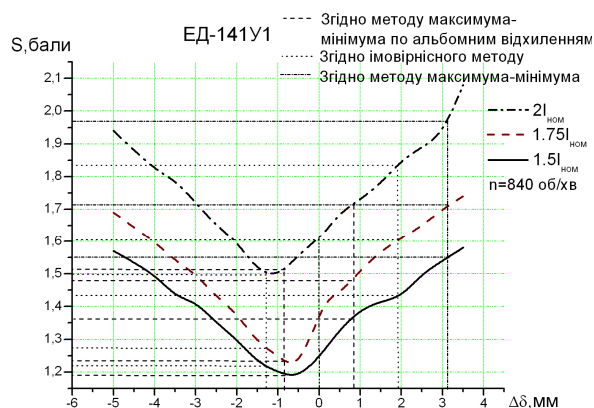


Рис. 4 – Залежність ступеня іскріння від значень відхилень при різних перевантаженнях двигуна постійного струму ЕД-141У1

тодом на прикладі тягового двигуна постійного струму ЕД-141У1, наведені на рис. 4. Показано в абсолютних та відносних одиницях зміну ступеня іскріння в залежності від зміни відхилень сумарного повітряного зазору магнітного кола додаткових полюсів $\Delta\delta$ згідно статистичних даних для двигунів ЕД-141У1, НБ-511 та СТК-520 при $2I_{\text{бііі}}$ (табл. 3).

Таблиця 3

Залежність зміни ступеня іскріння від зміни $\Delta\delta$ для двигунів постійного та пульсуючого струму згідно статистичних даних при перевантаженні $2I_{\text{бііі}}$

Тип двигуна								
ЕД-141У1			НБ-511			СТК-520		
$\Delta\delta_{\text{max}}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i	$\Delta\delta_{\text{max}}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i	$\Delta\delta_{\text{max}}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i
3,2	1,96	1	2,9	1,85	1	1,4	1,65	1
2	1,84	1,065	2	1,72	1,076	1	1,62	1,019
1	1,72	1,14	1	1,63	1,135	0,5	1,56	1,058
0,2	1,62	1,607	0,2	1,5	1,233	0,2	1,52	1,086

У третьому розділі розроблені рекомендації щодо коректування в сторону зменшення по відношенню до номінальних значень відхилень зазору під ДП для двигунів типів ЕД-141У1, ДТК-800, НБ-406Б, НБ-507, НБ-418к6, НБ-412к, НБ-511 та СТК-520 з метою покращення якості комутації при перевантаженнях до $2I_{\text{бііі}}$.

У четвертому розділі подано результати дослідження якості комутації під час перехідного процесу, який викликаний короткочасною втратою живлення електровозу. З точки зору комутації найбільший інтерес викликають експлуатаційні перехідні процеси, пов'язані з швидкою зміною струму в колі тягового двигуна. Із експлуатаційних електричних перехідних процесів найбільш суттєвим, з точки зору впливу відхилень геометричних параметрів магнітного кола ДП двигунів від їх номінальних значень на якість комутації, є процес, пов'язаний з втратою живлення з наступним його відновленням.

Втрата живлення може відбутися у силу різних експлуатаційних причин.

лобових частин секцій відповідно; L_p – довжина лобових частин секції, см; γ – щільне перекриття; $4u'$ – коефіцієнт пропорційності Р. Ріхтера.

Запропоновано метод, згідно якого встановлено вплив відхилень геометричних параметрів елементів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень на якість комутації двигунів постійного та пульсуючого струму при максимально допустимих перевантаженнях, тобто $I_B \leq 2I_{\text{бііі}}$.

Результати, що були отримані у відповідності з запропонованим ме-

Наприклад, короткочасний відрив струмоприймача від контактного проводу, короткочасне вимикання напруги безпосередньо на підстанції та ін. При втраті живлення з наступним його відновленням струм у якірному колі двигунів майже миттєво зростає з перевищенням початкової величини у 2-3 рази. Такого роду поштовхи струму є наслідком появи в масивних частинах магнітопроводу двигуна вихрових струмів.

Для тягових двигунів питання про їх комутацію при всякого роду перехідних режимах, викликаних електромагнітними й електромеханічними причинами, має дуже істотне значення, оскільки в умовах експлуатації стійкість двигуна стосовно цих явищ досить часто визначає його працездатність.

Дістали подальший розвиток методи оцінки впливу відхилень повітряних зазорів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації при перехідних процесах під час короткочасної втрати живлення з допомогою розробленої математичної моделі, що враховує дію не тільки вихрових струмів, а й динамічний характер індуктивності у колі двигунів на процес комутації, що підвищує точність визначення ступіня іскріння.

Визначено кількісний вплив вихрових струмів та динамічного характеру індуктивностей у колі двигуна на максимальне значення магнітного потоку в зоні комутації під час перехідного процесу при різних рівнях напруги в контактній мережі. Знайдено кількісні співвідношення впливу відхилень параметрів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації під час вказаного перехідного процесу при різних режимах ослаблення збудження.

Оцінка комутаційних умов при такого роду перехідному процесі потребує дослідження зміни в часі струму двигуна $i(t)$, його основного магнітного потоку $\hat{O}(t)$ і потоку додаткових полюсів в зоні комутації $\hat{O}_\text{д}(t)$. Ці функції $i = f(t)$, $\hat{O} = f(t)$ та $\hat{O}_\text{д} = f(t)$ визначаються, в свою чергу, зміною величини вихрових струмів в масивних частинах магнітопроводу машини (станини та полюса) і величиною індуктивностей силового кола двигуна. Згідно правил технічної експлуатації та ГОСТу 6962-75, допустимі рівні напруги контактної мережі постійного струму складають: максимальний 3,85 кВ, номінальний 3 кВ, мінімальний 2,2 кВ; для мережі змінного струму: максимальний 29 кВ, номінальний 25 кВ, мінімальний 19 кВ.

У зв'язку з суттєвою швидкістю зміни струму помітно виявляється вплив індуктивності обмоток, нелінійність магнітних характеристик і, особливо, вихрових струмів у магнітопроводах головних та додаткових полюсів відповідно. При цьому зміна магнітного потоку в магнітопроводі двигуна значно відстає за часом від зміни струму, що призводить до недокомпенсації реактивної електрорушійної сили $e_\text{д}$ (яка прямо пропорційна струму) компенсаційною електрорушійною силою $e_\text{д}$, яка залежить від значення магнітного потоку в зоні комутації. Крім того, при умовах, що розглядаються, виникає ще і трансформаторна ЕРС $e_\text{д}$. Вказані процеси впливають на значення додаткового поперечного струму комутації $i_\text{д}$. Останній є вихідним параметром при запропонованому автором методі дослідження впливу відхилень геометричних параметрів тяго-

вих двигунів від їх номінальних значень на якість комутації.

Для отримання чисельних розв'язків системи рівнянь запропонованої математичної моделі (9), використано метод Рунге-Кутта-Фелберга. В якості прикладу при дослідженні перехідних процесів у вказаних режимах прийнято тяговий двигун ЕД-141У1 (електровоз ДЕ1). Номінальні параметри для двигуна ЕД-141У1: $U_i = 1500$ В, $I_i = 565$ А, $n_{i\dot{i}} = 840$ об/хв, $\hat{O}_{i\dot{i}} = 0,1045$ Вб, $r = 0,0963$ Ом. Індуктивності кола якоря двигуна ЕД-141У1 в номінальному режимі: індуктивність якоря $L_B = 0,817$ мГн, індуктивність додаткових полюсів (ДП) $L_{\bar{A}} = 0,163$ мГн, індуктивність компенсаційної обмотки $L_{\hat{E}} = 0,533$ мГн, індуктивність головних полюсів (ГП) $L_{\bar{A}\dot{i}} = 4,46$ мГн.

$$\left. \begin{aligned} & \left(ir + L \frac{di}{dt} + \frac{pN}{60a} \hat{O}n + 2pw \frac{d\hat{O}}{dt} \right) \cdot n_{\bar{A}\hat{E}\bar{A}} = u_i ; \\ & -w_i i + \hat{O}(R_{mk} - R_{m1}) + 1,23R_{m1} \hat{O}_1 + g_{\mu} \frac{d\hat{O}_1}{dt} = F_{i\dot{E}k} ; \\ & -w_i i + \hat{O}(R_{mk} - R_{m1}) + 5,29R_{m1}(\hat{O} - \hat{O}_1) + 0,477g_{\mu} \frac{d(\hat{O} - \hat{O}_1)}{dt} = F_{i\dot{E}k} ; \\ & -w_{\bar{A}} i + \hat{O}_{\hat{E}}(R_{m\bar{A}k} - R_{m\bar{A}1}) + 1,23R_{m\bar{A}1} \hat{O}_{\hat{E}1} + g_{\mu\bar{A}} \frac{d\hat{O}_{\hat{E}1}}{dt} = F_{i\dot{E}\bar{A}k} ; \\ & -w_{\bar{A}} i + \hat{O}_{\hat{E}}(R_{m\bar{A}k} - R_{m\bar{A}1}) + 5,29R_{m\bar{A}1}(\hat{O}_{\hat{E}} - \hat{O}_{\hat{E}1}) + 0,477g_{\mu\bar{A}} \frac{d(\hat{O}_{\hat{E}} - \hat{O}_{\hat{E}1})}{dt} = F_{i\dot{E}\bar{A}k} ; \\ & L = 1,05\mu_0 \cdot 10^{-8} \frac{w_B^2 \alpha^3 l_B D_B k_{\mu}}{k_{\delta} \delta} + \frac{4l_B \lambda w_B^2 \cdot 10^{-8}}{Z} \mu_0 + 2p\sigma_{\bar{A}} w_{\bar{A}} \frac{d\hat{O}_{\hat{E}}}{di} + \\ & + 2 \frac{w_B^2 l_B \lambda_{\hat{E}}}{pZ_{\hat{E}}} \mu_0 + 2pw(\sigma - 1) \frac{d\hat{O}}{di} + L_i^* + L_{\Phi}^* , \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де $n_{\bar{A}\hat{E}\bar{A}}$ – кількість послідовно ввімкнених двигунів вітки кола, що розглядається; u_i – напруга контактної мережі, В; i – струм двигуна, А; L – індуктивність розсіювання двигуна, Гн; n – кількість обертів двигуна, об/хв; w – кількість витків котушки головних полюсів; p – кількість пар полюсів; a – кількість пар паралельних вітки якоря; N – кількість провідників обмотки якоря; r – опір кола двигуна, Ом; w_i – кількість витків обмотки ГП, що враховує дію реакції якоря; $\hat{O}$, $\hat{O}_1$ – магнітний потік ГП і його основна гармоніка відповідно, Вб; $\hat{O}_{\hat{E}}$, $\hat{O}_{\hat{E}1}$ – магнітний потік зони комутації і його основна гармоніка відповідно, Вб; $(\hat{O} - \hat{O}_1)$, $(\hat{O}_{\hat{E}} - \hat{O}_{\hat{E}1})$ – сумарний магнітний потік вищих гармонік ГП та ДП відповідно, Вб; R_{m1} , R_{mk} – магнітні опори першої та k -ї ділянки магнітної характеристики ГП, Ом; $R_{m\bar{A}1}$, $R_{m\bar{A}k}$ – магнітні опори першої та k -ї ділянки магнітної характеристики ДП, Ом; $F_{i\dot{E}k}$, $F_{i\dot{E}\bar{A}k}$ – намагнічуюча сила нелінійності головних та додаткових полюсів відповідно, А; g_{μ} , $g_{\mu\bar{A}}$ – магнітна індуктивність основної хвилі потоку головних та додаткових полюсів відповідно, См; L_i^* ,

$L_{\text{сд}}^*$ – індуктивність контактної мережі та згладжуючого реактора відповідно, Гн. Приймаємо початкові умови для дослідження вказаного перехідного процесу: $u_1 = 3000$ В, $i = 0$ А, $\hat{O} = 0$ Вб, $n_{\text{ААЕА}} = 2$ (оскільки розглядається режим паралельного з'єднання двигунів). Величини, які визначені розрахунковим шляхом: $R_{m1} = 49779$ Ом, $R_{m2} = 57883$ Ом, $R_{m3} = 84600$ Ом, $R_{m4} = 138322$ Ом, $R_{m5} = 205818$ Ом, $F_{i\text{Е}1} = 0$ А, $F_{i\text{Е}2} = 384$ А, $F_{i\text{Е}3} = 1968$ А, $F_{i\text{Е}4} = 6464$ А, $F_{i\text{Е}5} = 12240$ А, $g_{\mu} = 9768$ См, $g_{\mu\text{А}} = 9140$ См, $w_1 = 15,4$. Величини, які отримані з технічних креслень двигунів: $w_{\text{А}} = 6$, $p = 3$, $a = 3$, $N = 984$.

Індуктивність згладжуючого реактора у електровозів змінного струму з двигунами пульсуючого струму складає $L_{\text{сд}} = 0,006$ Гн. Індуктивність одного кілометра контактної мережі під час перехідного процесу може бути визначена за формулою Полячека:

$$L_1 = \left(1 + 2 \ln \frac{10^4}{1,78 R \sqrt{10 \pi \omega \gamma_c}} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (10)$$

де R – радіус проводу, м; γ_c – питома провідність землі, См/м; ω – кутова швидкість, рад/с.

При дослідженнях двигунів постійного струму $L_{\text{сд}}^*$ відсутня (оскільки відсутній згладжуючий реактор), при дослідженні двигунів пульсуючого струму L_1^* відсутня (оскільки розглядається живлення ТЕД від виводів тягового випрямляча).

Запропонована математична модель використана в дисертації для отримання вихідних даних з метою дослідження впливу відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації двигунів як постійного, так і пульсуючого струмів з урахуванням вихрових струмів і дина-

мічної індуктивності в режимах як повного, так і ослабленого полів збудження. Система диференціальних рівнянь для дослідження перехідного процесу під час ослабленого збудження відрізняється від системи (9) наявністю рівнянь, які враховують дію ослаблення збудження. Як приклад результати розрахунків залежностей $i(t)$, $\hat{O}(t)$, $\hat{O}_{\text{Е}}(t)$ та $i_{\text{АЕО}}(t)$ при раптовому обриві та подальшому відновленні напру-

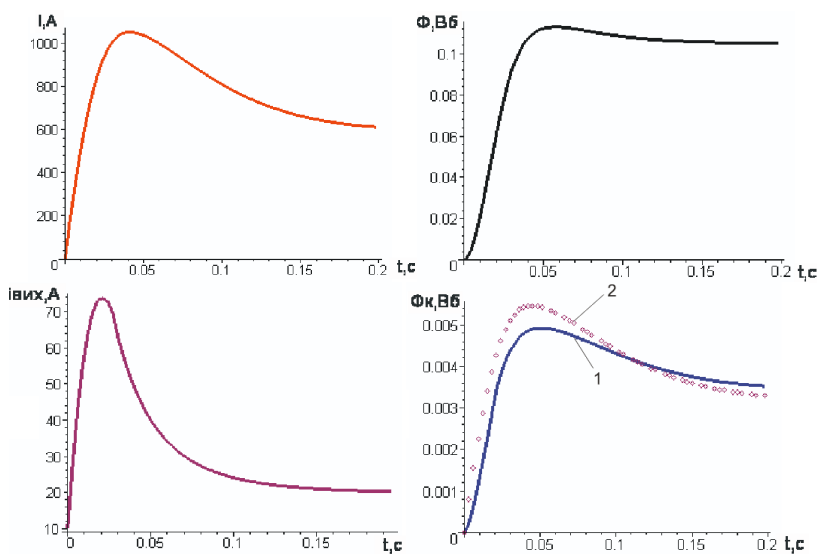


Рис. 5 – Графіки зміни $i(t)$, $\hat{O}(t)$, $i_{\text{АЕО}}(t)$ та $\hat{O}_{\text{Е}}(t)$ під час відновлення живлення при напрузі у контактній мережі 3 кВ

ги контактної мережі до 3 кВ для електровозу постійного струму ДЕ1 (ТЕД типу ЕД-141У1) наведені на рис. 5. Крива 2 на графіку $\hat{O}_{\hat{e}}(t)$ відповідає випадку, коли магнітний потік ДП в зоні комутації змінюється у повній відповідності із зміною струму в колі двигуна послідовного збудження з урахуванням нелінійності магнітної характеристики ДП; крива 1 – відповідає випадку, коли враховується дія вихрових струмів та нелінійності магнітної характеристики ДП.

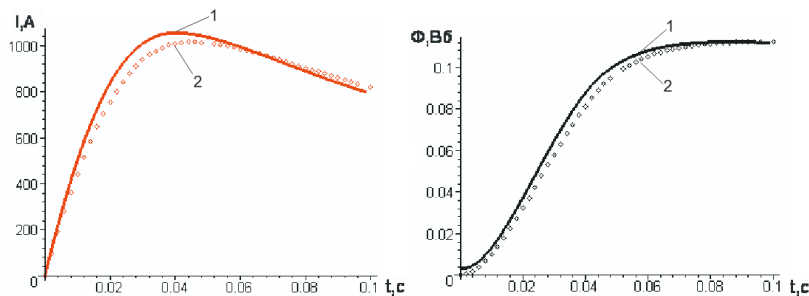


Рис. 6 – Графіки зміни $i(t)$, $\hat{O}(t)$ при відновленні живлення при напрузі у контактній мережі 3 кВ та при $L_{\text{AI}}, L_{\text{A}} \neq \text{const}$ (крива 1); $L_{\text{AI}}, L_{\text{A}} = \text{const}$ (крива 2)

характер індуктивностей двигунів, так як при цьому максимум струму перехідного процесу збільшується в порівнянні із варіантом, коли вказана індуктивність постійна. На рис. 6 приведені залежності $i(t)$ та $\hat{O}(t)$ для двигуна ЕД-141У1 під час вказаного перехідного процесу: крива 1 – при умові, що індуктивність кола якоря $L \neq \text{const}$; крива 2 – при умові, що $L = \text{const}$.

На рис. 7 показана залежність ступеня іскріння від зміни $\Delta\delta$ під час перехідного процесу при короткочасній втраті живлення при повному та ослабленому збудженні (напруга у контактній мережі – 3 кВ).

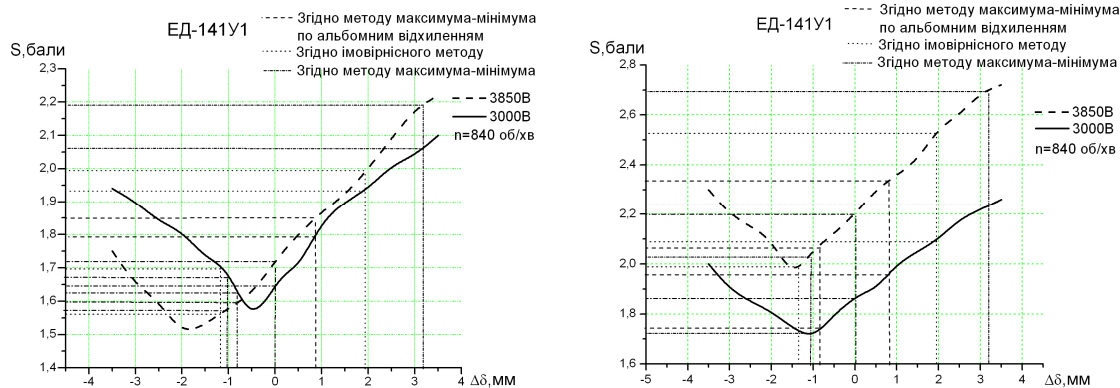


Рис. 7 – Графіки зміни ступеня іскріння у процесі відновлення живлення при повному та ослабленому збудженні двигуна ЕД-141У1

В роботі проведено дослідження і показано в абсолютних та відносних одиницях зміну ступеня іскріння в залежності від зміни відхилення загального зазору магнітного кола ДП $\Delta\delta$ відносно альбомних даних для вказаних типів двигунів при максимально можливій напрузі 3,85 кВ та при ослабленому збудженні (табл. 4).

Як видно з таблиці 4 ступінь іскріння, наприклад, для двигуна НБ-507 можливо покращити в $3,24/2,84=1,14$ рази, де 3,24 бала ступінь іскріння при відхиленні зазору +0,85 мм; 2,84 бала – ступінь іскріння при відхиленні зазору +0,2 мм.

Таблиця 4

Залежність зміни ступіня іскріння від зміни $\Delta\delta$ для двигунів постійного та пульсуючого струму відносно альбомних даних при напрузі мережі 3,85 кВ та при ослабленому збудженні

Відхилення зазору $\Delta\delta_{\max}$, мм	Тип двигуна							
	ЕД-141У1		ДТК-800		НБ-406Б		НБ-507	
	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i
0,85	2,32	1	2,19	1	3,1	1	3,24	1
0,5	2,29	1,013	2,1	1,043	3,06	1,013	3,1	1,045
0,3	2,26	1,027	2,04	1,074	3,03	1,023	2,87	1,08
0,2	2,24	1,036	2	1,095	3,01	1,03	2,84	1,157
Відхилення зазору $\Delta\delta_{\max}$, мм	Тип двигуна							
	НБ-418к6		НБ-412к		НБ-511		СТК-520	
	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i	S, бали	S_{δ}/S_i
0,85	1,9	1	2,92	1	3,25	1	2,35	1
0,5	1,85	1,027	2,85	1,025	3,12	1,042	2,2	1,068
0,3	1,8	1,056	2,82	1,035	3,06	1,062	2,17	1,083
0,2	1,79	1,098	2,8	1,043	2,97	1,094	2,15	1,093

Також показано в абсолютних та відносних одиницях зміну ступіня іскріння в залежності від зміни відхилення загального зазору магнітного кола ДП $\Delta\delta$ згідно статистичних даних для двигунів типів ЕД-141У1, НБ-511 та СТК-520 при відновленні напруги мережі 3,85 кВ та при ослабленому збудженні (табл. 5).

Таблиця 5

Залежність зміни ступіня іскріння від зміни $\Delta\delta$ для двигунів постійного та пульсуючого струму згідно статистичних даних при максимально можливій напрузі мережі та при ослабленому збудженні

Тип двигуна								
ЕД-141У1			НБ-511			СТК-520		
$\Delta\delta_{\max}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i	$\Delta\delta_{\max}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i	$\Delta\delta_{\max}$, мм	S, бали	S_{δ}/S_i
3,2	2,7	1	2,9	4	1	1,4	2,49	1
2	2,52	1,071	2	3,76	1,064	1	2,35	1,06
1	2,4	1,125	1	3,26	1,227	0,5	2,2	1,132
0,2	2,2	1,227	0,2	2,95	1,356	0,2	2,12	1,175

П'ятий розділ присвячено питанням практичної реалізації результатів роботи та її техніко-економічної ефективності. Використання результатів роботи по підвищенні якості комутації тягових двигунів електровозів в сучасних умовах роботи залізниць України суттєво покращує працездатність двигунів та дає економічний ефект орієнтовно 560000 грн. на рік. Крім того, покращення якості комутації зменшує об'єм роботи обслуговуючого персоналу, зменшує витрати по демонтажу (монтажу) двигунів та їх транспортуванню.

Результати дослідження рекомендуються використовувати при виготовленні та ремонтах діючих тягових двигунів постійного та пульсуючого струму, а також можуть використовуватись при розробці і проектуванні нових тягових двигунів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі досліджень електромагнітних процесів, що протікають у силових колах електрорухомого складу електричної тяги постійного та пульсуючого струмів, вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення працездатності тягових електродвигунів шляхом покращення якості комутації. Отримані результати в сукупності мають суттєве значення в галузі електричного транспорту. Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації дисертації полягають у наступному.

1. Обґрунтовано, що в якості критерія для кількісної оцінки якості комутації (ступіня іскріння), яка характеризує працездатність тягових двигунів електровозів, доцільно використати критерій А. Б. Іоффе з урахуванням відхилень геометричних розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів.

2. Вперше запропоновано метод, згідно якого визначено якість комутації тягових електродвигунів постійного та пульсуючого струмів електровозів з урахуванням відхилень геометричних розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень для режимів: номінальне навантаження, перевантаження до двократних номінальних струмів, при короткочасній втраті живлення.

3. Визначено якість комутації при наступних значеннях повітряних зазорів під додатковими полюсами:

- значення зазорів, які отримані при умові, що розміри всіх елементів вказаного кола є номінальними (відхилення розмірів елементів дорівнює нулю);
- значення зазорів, які отримані по методу максимум-мінімуму відносно альбомних даних;
- імовірнісні значення зазорів на базі статистичних даних;
- значення зазорів, які визначені по методу максимум-мінімуму на базі статистичних даних.

4. Вперше встановлені співвідношення між ступінню іскріння та відхиленнями зазорів від їх номінальних значень під додатковими полюсами, що дає можливість коректувати відхилення розмірів елементів магнітного кола ДП при зборці двигуна з метою покращення якості комутації за рахунок зменшення небалансної електрорушійної сили, що підвищує працездатність ТЕД.

5. З метою підвищення точності визначення ступіня іскріння на колекторах тягових електродвигунів розроблено математичну модель перехідного процесу при відновленні живлення електровозу, яка відрізняється від відомих моделей врахуванням динамічного характеру індуктивностей силового кола під час перехідного процесу при повному та ослабленому збудженні.

6. Досліджено вплив відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів під час перехідних процесів у колі двигунів, викликаних короткочасною втратою напруги. Встановлено, що ступінь іскріння для окремих типів тягових двигунів при різних відхиленнях повітряного зазору складає 2,9, 3,26, 3,8 бала, що більше від допустимого.

7. З допомогою проведених досліджень і відповідних рекомендацій показано, що ступінь іскріння можливо покращити від 3% до 15%.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Безрученко В. М. Вплив допусків на виготовлення деталей магнітної ланки додаткових полюсів на ступінь іскріння тягових двигунів / В. М. Безрученко, А. В. Шаповалов, Е. О. Запишний // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – С. 168–170.
2. Безрученко В. М. Визначення якості комутації тягових двигунів / Валеріан Безрученко, Андрій Шаповалов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – С. 47–49.
3. Шаповалов А. В. Влияние допусков при изготовлении и ремонте деталей тяговых двигателей на качество коммутации / А. В. Шаповалов // Гірничая електромеханіка та автоматика. наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 79. – С. 81–87.
4. Дубинець Л. В. Залежність ступені іскріння тягових двигунів від допусків на елементи магнітного кола додаткових полюсів / Леонід Дубинець, Андрій Шаповалов // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Збірник наукових праць. – 2008. – № 7. – С. 61–66.
5. Дубинець Л. В. Вплив допусків на комутацію тягових двигунів при перехідних процесах / Леонід Дубинець, Андрій Шаповалов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – С. 63 – 68.
6. Шаповалов А. В. Статистична оцінка впливу відхилень розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів електровозних тягових двигунів на їх ступінь іскріння / А. В. Шаповалов // Гірничая електромеханіка та автоматика. наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 81. – С. 150–153.
7. Дубинець Л. В. Вплив відхилень параметрів тягових двигунів на якість комутації під час перехідних процесів з урахуванням ослабленого поля / Леонід Дубинець, Андрій Шаповалов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – С. 51 – 55.

АНОТАЦІЯ

Шаповалов А.В. Підвищення працездатності тягових двигунів електровозів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2009.

Дисертація присвячена підвищенню працездатності тягових двигунів електровозів у сучасних умовах роботи залізниць України шляхом покращення якості комутації за рахунок встановлення раціональних відхилень на розміри деталей кола додаткових полюсів тягових двигунів постійного та пульсуючого струму під час їх виготовлення та ремонту. Вибрано критерій для визначення

якості комутації з урахуванням поставленої мети та сучасних умов експлуатації.

Досліджено вплив відхилень геометричних параметрів магнітного кола додаткових полюсів від їх номінальних значень на якість комутації при: номінальних режимах роботи двигунів; при експлуатаційних перевантаженнях двигунів; при експлуатаційних перехідних режимах роботи двигунів з врахуванням вихрових струмів та динамічного характеру індуктивностей у колі якоря.

Викладено метод для визначення впливу відхилень параметрів елементів магнітного кола додаткових полюсів на якість комутації при різних експлуатаційних режимах роботи двигунів. Проведено статистичний аналіз значень вказаних відхилень, а також їх допустимі максимальні значення, які встановлені при виконанні дисертації. Встановлена залежність ступеня іскріння від значень відхилень повітряних зазорів магнітного кола додаткових полюсів в порівнянні з номінальними зазорами, вказаними на кресленнях. Розроблена математична модель для дослідження перехідних процесів.

Ключові слова: ступінь іскріння, відхилення (допуски), теорія розмірних кіл, фактор іскріння, додатковий струм комутації, небалансова електрорушійна сила, змінні складові, струм навантаження двигуна, напруга мережі, вихрові струми, теорія розмірних кіл.

АННОТАЦИЯ

Шаповалов А.В. Повышение работоспособности тяговых двигателей электровозов. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.22.09 – электротранспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2009.

Диссертация посвящена повышению работоспособности тяговых двигателей электровозов в современных условиях работы железных дорог Украины путем улучшения качества коммутации за счет установления рациональных отклонений на размеры деталей магнитной цепи добавочных полюсов тяговых двигателей постоянного и пульсирующего тока во время их изготовления и ремонта.

Проведен анализ состояния проблемы коммутации тяговых электродвигателей с учетом специфических условий работы электрифицированных железных дорог. Как показывает обзор литературы по теме диссертации, проведенный автором, до теперешнего времени влияние отклонений параметров тяговых двигателей на качество коммутации в полной мере не исследовано, особенно это относится к установлению количественных соотношений влияния отклонений геометрических параметров элементов тяговых двигателей от их номинальных значений на качество коммутации при переходных процессах. Поскольку наиболее эффективным средством улучшения коммутации есть использование добавочных полюсов, то в работе рассматривается влияние на качество коммутации отклонений геометрических параметров магнитной цепи добавочных полюсов от их номинальных (альбомных) значений. Связь между

граничными размерами и допусками деталей и узлов, которые складываются, установлено с помощью расчетов, основанных на теории размерных цепей.

Проанализированы существующие критерии оценки качества коммутации. Выбран критерий для определения качества коммутации А. Б. Иоффе с учетом поставленной цели и современных условий эксплуатации. Выбор данного критерия обосновывается тем, что при получении данного критерия А. Б. Иоффе было проведено большой объем экспериментальных исследований. Кроме этого, критерий оценки А. Б. Иоффе в наибольшей мере способствует решению поставленной задачи, так как критерий включает в себя все основные геометрические параметры элементов двигателя, которые могут влиять на качество коммутации. Для решения поставленной задачи в диссертации использовано понятие математическое ожидание и дисперсия функции k -мерных независимых случайных величин. Зависимость фактора искрения $\hat{O}$, от случайных величин рассмотрено как функцию k -мерных независимых случайных величин, которая также будет случайной величиной.

С использованием разделов теории вероятностей и математической статистики установлены количественные соотношения между геометрическими параметрами, которые определяют качество коммутации и которые позволяют определить степень искрения двигателей. На базе статистического анализа установлено, что распределение геометрических размеров элементов магнитной цепи добавочных полюсов отвечает нормальному закону распределения. С помощью функции Лапласа найдена вероятность отклонения нормально распределенной величины относительно номинального значения данного параметра. Согласно теории размерных цепей и звеньев с использованием вероятностного метода расчета размерных цепей и метода максимума-минимума, установлены граничные отклонения воздушных зазоров магнитной цепи дополнительных полюсов различных типов тяговых электродвигателей на базе статистического анализа.

Исследовано влияние отклонений геометрических параметров размеров элементов электродвигателей пульсирующего тока на качество коммутации с учетом переменных составляющих, которые были определены по методике В. Е. Скобелева при различных режимах работы двигателей.

Исследовано влияние отклонений параметров магнитной цепи дополнительных полюсов от их номинальных значений на качество коммутации при: номинальных режимах работы двигателей; при эксплуатационных перегрузках двигателей; при эксплуатационных переходных режимах работы двигателей с учетом вихревых токов и динамического характера индуктивностей в цепи якоря.

Изложен метод для определения влияния отклонений параметров элементов магнитной цепи дополнительных полюсов на качество коммутации при разных эксплуатационных режимах работы двигателей. Проведен статистический анализ значений указанных отклонений, а также их допустимые максимальные значения, которые установлены при выполнении диссертации.

Установлена зависимость степени искрения от значений отклонений воздушных зазоров магнитной цепи дополнительных полюсов в сравнении с но-

минальными зазорами, указанными на чертежах.

Исследовано влияние вихревых токов, а также динамического характера индуктивности в цепи двигателя на характер переходных процессов в силовой цепи электровоза при кратковременной потере питания и как следствие на качество коммутации. Разработана математическая модель для исследования переходных процессов. Найдены количественные соотношения влияния отклонений геометрических параметров элементов двигателей на качество коммутации во время эксплуатационного переходного процесса, который вызван кратковременной потерей питания электровоза. При этом учитываются режимы работы электровоза во время ослабления возбуждения. Проведено технико-экономическое обоснование внедрения результатов работы.

Ключевые слова: степень искрения, отклонения (допуски), теория размерных цепей, фактор искрения, дополнительный ток коммутации, небалансная электродвижущая сила, переменные составляющие, ток нагрузки двигателя, напряжение сети, вихревые токи, теория размерных цепей.

ABSTRACT

A. Shapovalov. Increasing to capacity to work of the tractive engines electric locomotive. – Manuscript.

The thesis on reception scientific degree candidate of the technical sciences for profession 05.22.09 – elektrotransport – Dnepropetrovsk National University of Railway Transportation named after academician V. Lazarjan, Dnepropetrovsk, 2009.

The thesis is dedicated to increasing capacity to work tractive engines electric locomotive in modern condition of the working the railways of the Ukraine by improvements quality to switching to account of the determination of the rational deflections on sizes of the details of the tractive engines constant and pulsing current during their fabrications and repair.

Criterion is chose for determination quality to switchings with provision for putted to purposes and with-temporary conditions to usages. The explored influence of the deflections parameters magnetic circle from their nominal importance on quality of the switching under: nominal state of working engines; under working overloading the engines; under working connecting state of working engines with provision for curls current and dynamic nature of the inductances in chain anchor.

The stated method for determination of the influence of the deflections parameter element magnetic chain of additional poles on quality of the switching under different working state of working engines. It is organized statistical analysis of importance of the specified deflections, as well as their possible maximum of importance, which are installed when performing the theses. It is installed dependency degree sparkling from importances of the deflections air clearance in comparison with nominal clearances, specified on drawing. Designed mathematical model for study connecting mode.

The keywords: degree of the sparkling, tolerances, factor of the sparkling, additional current to switchings, notbalanced EMP, variable component, current of the load of the engine, network voltage, curls current, theory of the dimensioned chains.

ШАПОВАЛОВ АНДРІЙ В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ
ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1,98. Обл.-вид. арк.2,1.
Тираж 100 прим. Зам. № ____.

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2; www.diitvv.dp.ua.