

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.42.016.12

Б. Є. БОДНАР¹, М. І. КАПЦА², Д. М. КИСЛИЙ^{3*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61

²Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, ел. пошта m.i.kapica@ua.fm

^{3*}Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (066) 625 18 59, ел. пошта dmitriyakis@i.ua

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ТЯГИ ЛОКОМОТИВА З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ КОЛІСНО-МОТОРНИХ БЛОКІВ

Мета. У статті розглянуто найбільш поширені способи визначення сили тяги локомотива. Рішення задач тягових розрахунків передбачає визначення сил, що діють на поїзд у кожній точці шляху. При виборі раціональних траєкторій руху поїзда й при розробці режимних карт ведення поїзда необхідно визначити фактичне значення сили тяги локомотива. З урахуванням різних факторів, значення потужності ТЕД локомотива можуть мати значну різницю. Метою є вдосконалення системи оперативного визначення сили тяги локомотива при тягових розрахунках по електричним параметрам ТЕД за рахунок урахування нерівномірності навантаження КМБ. **Методика.** Запропоновано методику визначення сили тяги електро-возів та тепловозів з електричною передачею, в основу якої покладено отримання первинних даних про режим роботи тягових електричних двигунів постійного струму. Наведено датчики й схему їх включення в електричну схему тепловоза для отримання даних у цифровому вигляді та оперативного розрахунку режиму роботи кожного тягового електродвигуна, а також визначення сили тяги локомотива. **Результати.** Проведено експериментальне дослідження системи визначення сили тяги на тяговому електродвигуні ЕД-105. Проведено порівняння електричної та механічної потужностей електродвигуна. **Наукова новизна.** Запропонована система оперативного визначення сили тяги локомотивів, яка враховує змінні електро-механічні фактори колісно-моторних блоків та збільшує точність розрахунків. **Практична значимість.** Система є складовою частиною бортового комплексу визначення енергоефективних режимів ведення поїздів та забезпечує визначення прискорюючих та сповільнюючих сил.

Ключові слова: тягові розрахунки; тягові електричні машини; сила тяги; момент обертання; частота обертання; магнітний потік; електрична потужність; механічна потужність

Вступ

Розв'язання задач тягових розрахунків передбачає визначення сил, що діють на поїзд у кожній точці шляху. Від рівнодіючої сил тяги та опору з урахуванням ухилу профілю колії залежить траєкторія руху поїзда.

У тягових розрахунках згідно з класичною теорією передбачається, що в режимі тяги ло-

комотив реалізує максимальну потужність, тобто сила тяги визначається з тягової характеристики за обмеженням сили тяги за зчепленням коліс з рейками та на максимальній позиції контролера машиніста на автоматичній частині тягової характеристики. У цьому випадку дотична сила тяги локомотива є функцією швидкості руху

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$F_d = f(V). \quad (1)$$

На підставі [5] сили опору руху поїзда W також є функцією швидкості

$$W = f(V). \quad (2)$$

У розрахунках враховуються лише сили основного опору руху, а також опір від ухилу колії, що вносить значну похибку під час використання такої моделі на практиці.

У практичних тягових розрахунках, які використовуються для проектування систем автоматичного ведення [6, 8, 12], а також у розрахунках з визначення раціональних траєкторій ведення поїзда [2] виникає необхідність обчислення сили тяги тягового рухомого складу (ТРС) як залежності від потужності локомотива

$$F_d = f(P). \quad (3)$$

Потужність ТРС характеризується механічною потужністю силової установки (дизеля) для тепловозів та електричною потужністю, що передається контактною мережею, для електровозів. Кожному колісно-моторному блоку (КМБ) передається рівна частина потужності з урахуванням ККД передачі локомотива.

Залежно від різних факторів, таких як різні опори паралельних кіл тягових електродвигунів (ТЕД), неоднакове налаштування ТЕД, резисторів ослаблення поля, перехідного опору контактних груп електроапаратів та ін., фактичні значення потужності ТЕД локомотива можуть значно відрізнятись.

В умовах експлуатації виникають відхилення діаметрів бандажів локомотива, що впливає на характеристики тягових двигунів, включених у паралельні кола. Це призводить до порушення рівномірного розподілу струмів між цими ТЕД. Залежно від відхилення діаметрів бандажів колісних пар ТРС, розбіжність струмів у паралельних колах ТЕД може сягати більше ніж 200 А при значному навантаженні [1].

Згідно з Інструкцією із середнього й капітального ремонту електровозів та тепловозів різниця між швидкісними характеристиками КМБ одного локомотива може становити 3 %.

Сумарна різниця потужності ТЕД одного локомотива в експлуатації, а у свою чергу і сила тяги КМБ, з урахуванням вищенаведених факторів може мати досить високе значення.

Під час вибору раціональних траєкторій руху поїзда та розробки режимних карт ведення поїзда необхідно враховувати ці відхилення, тому що стосовно контролера машиніста ця величина може становити 3–4 позиції [1].

У програмно-відстежувальних системах автоведення [4, 6, 8] та системах реєстрації режимів роботи локомотива визначення сили тяги відбувається безперервно (дискретно) вимірюванням параметрів струму, напруги, зусилля на автозчепі тощо.

Одним із способів визначення потужності КМБ є розрахунок електричної потужності тягового електродвигуна з урахуванням його ККД та ККД тягового редуктора

$$P = U I \eta_{\text{тел}} \eta_{\text{ред}}. \quad (4)$$

Для отримання сили тяги необхідно відстежувати поточне значення швидкості V

$$F = 3,6 \frac{P}{V}. \quad (5)$$

Недолік цього методу в тому, що значення ККД та навантаженість КМБ локомотива відрізняються, що вносить похибку в розрахунки.

Наступний метод базується на електротягових характеристиках КМБ локомотива (рис. 1).

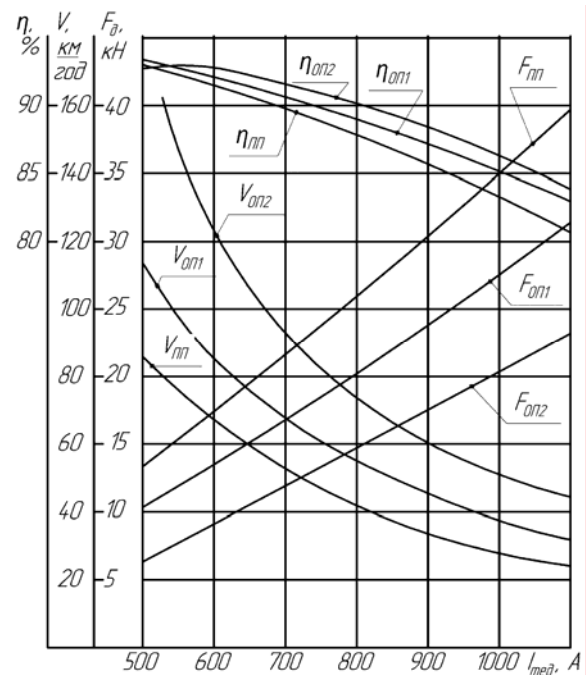


Рис. 1. Електротягові характеристики тягового електродвигуна

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Параметром, що реєструється, є струм ТЕД. Сила тяги визначається аналітично через перерахунок електротягових характеристик КМБ. При цьому значення сили тяги є функцією одного аргументу

$$F = f(I_{\text{тед}}). \quad (6)$$

Існує метод розрахунку сили тяги з використанням характеристик намагнічування ТЕД [3] (рис. 2)

$$C\Phi = f(I_{\text{тед}}). \quad (7)$$

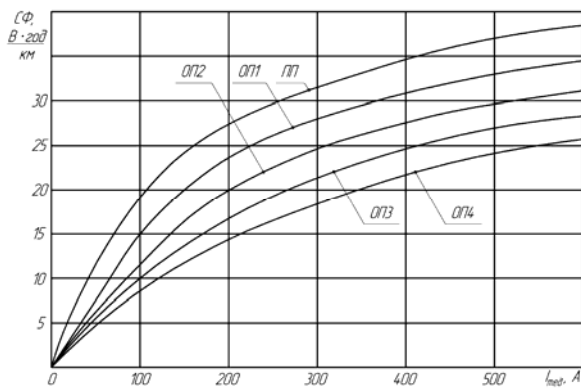


Рис. 2. Характеристики намагнічування ТЕД типу НВ-406 електровоза серії ВЛ8

Цей метод не враховує неточності налаштування ослаблення поля ТЕД та відхилень переходного опору групових перемикачів. Він є досить точним, але виникає необхідність вимірювання струму та напруги кожного електродвигуна.

Метод визначення сили тяги локомотива шляхом реєстрації зусилля на автозчепі (рис. 3) передбачає розв'язання задачі механіки та знаходження вектора сили тяги. Складність методу полягає в таруванні тензодатчиків розтягнення-стиснення автозчепу, а тому використовується в лабораторних умовах. При цьому вимірюється безпосередньо рівнодіюча між дотичною силою тяги та силою опору складу. Для визначення числового значення сили тяги необхідно розраховувати повну силу опору [5].

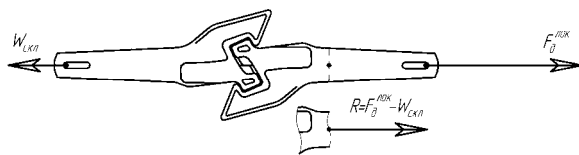


Рис. 3. Схема вимірювання зусилля на автозчепі

Як бачимо, у всіх вищенаведених методів можна виділити загальні недоліки: числове значення сили тяги визначається шляхом аналітичного перерахунку суміжних параметрів; ці методи не враховують різницю навантаження між окремо взятими КМБ, що передбачає виникнення похибки. При цьому необхідно взяти до уваги такий фактор, як складність встановлення датчиків реєстрації параметрів на ТРС.

Мета

Удосконалення системи оперативного визначення сили тяги локомотива в тягових розрахунках за електричними параметрами ТЕД з урахуванням нерівномірності навантаження КМБ, що дозволяє підвищити ефективність використання локомотивів.

Методика

Значна кількість локомотивів у експлуатації має тягові двигуни постійного струму. Робота таких двигунів характеризується частотою та моментом обертання вала якоря.

Момент обертання в ТЕД виникає в результаті проходження провідників зі струмом, вкладених у пазах якоря в магнітному полі, що створюється основними полюсами двигуна. Він залежить від величини магнітного потоку та сили струму, що проходить по обмотках якоря та визначається за формулою

$$M = C_m I_a \Phi_3, \quad (8)$$

де C_m – постійний коефіцієнт, який враховує кількість пар полюсів, кількість витків якоря та інші параметри даного електродвигуна.

Частота обертання якоря ТЕД – функціональна залежність, що пропорційна ЕРС двигуна та оберненопропорційна магнітному потоку

$$n = \frac{E}{C_e \Phi_3}, \quad (9)$$

де C_e – постійний для даного електродвигуна коефіцієнт, що залежить від діаметра якоря, кількості провідників обмотки та інших конструктивних особливостей двигуна.

З урахуванням того що

$$E = U - I_a r_a; \quad (10)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{C_e \Phi_3} \quad (11)$$

На локомотивах застосовуються ТЕД послідовного збудження з декількома ступенями ослаблення поля. Струм, що проходить через обмотку збудження, дорівнює або пропорційний струму якоря.

Магнітний потік Φ_3 , що створюється основними полюсами електродвигуна, визначається за формулою

$$\Phi_3 = B l \tau, \quad (12)$$

де τ – полюсна дуга, тобто зона дії пари полюсів.

$$\tau = \frac{\pi D_{\text{я}}}{2p} \quad (13)$$

Сила намагнічування полюсів дорівнює сумі магнітних напружень на ділянках магнітного кола та сили розмагнічування якоря

$$\Sigma F_3 = \Sigma H_i \cdot l_i + F'_{\text{ря}} \quad (14)$$

та залежить від кількості витків W обмотки полюса та струму, що проходить по них.

$$\Sigma F_3 = I_3 W \quad (15)$$

Під час роботи машини змінним параметром є струм збудження. Залежність магнітного потоку машини від намагнічувальної сили або струму має нелінійний характер (рис. 3, 4). До того ж намагнічувальна характеристика холостого ходу та навантажувальна характеристика мають розбіжність за рахунок розмагнічувальної сили якоря (див. рис. 4).

Для розрахунку потужності ТЕД як функції частоти обертання та моменту

$$P = f(n, M) \quad (15)$$

пропонуємо використовувати числові значення змінних виразів (8) та (11), що отримуються датчиками під час роботи машини.

Для вимірювання струму двигуна доцільно використовувати датчик Холла, що розташований в перерізі феритового кільця на силовому кабелі ТЕД (рис. 5). Використання такого датчика забезпечує гальванічну розв'язку електричного кола.

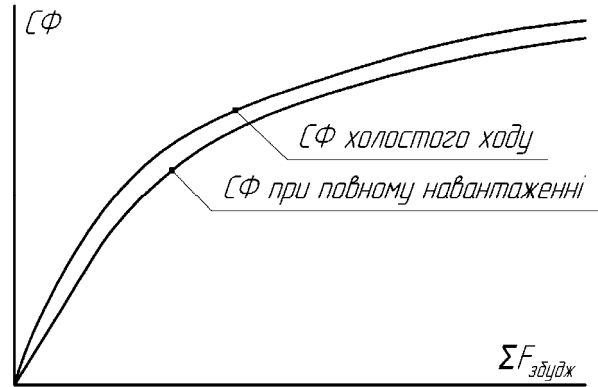


Рис. 4. Намагнічувальні характеристики ТЕД

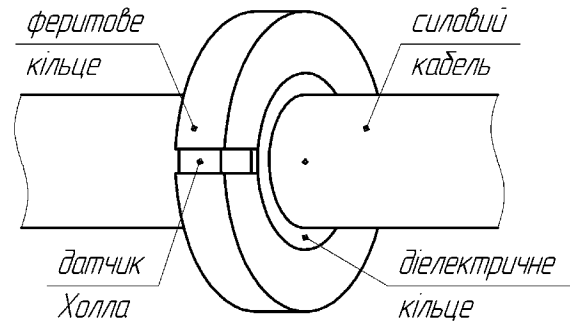


Рис. 5. Встановлення датчика струму

Напругу двигуна доцільно вимірювати оптронним датчиком з фототранзистором, встановленим у паралельне коло якоря електродвигуна через високоомний резистор (рис. 6) [14].

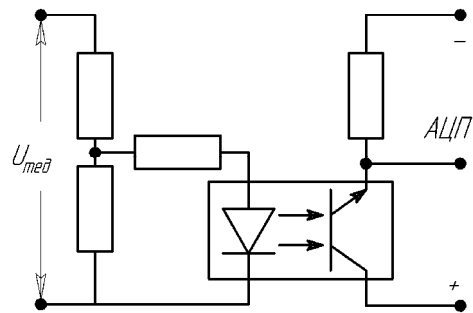


Рис. 6. Схема вимірювання напруги ТЕД

Для компенсації коливань напруги за період коливаний T або під час розрахунку постійної пульсуючої напруги доцільно розрахувати середньквадратичне значення від миттєвого значення функції [7]

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (16)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Для визначення магнітного потоку запропоновано використовувати датчик Холла з відповідним діапазоном вимірювання магнітної індукції. Датчик встановлюється над основним полюсом електродвигуна (рис. 7) та реагує на магнітний потік розсіювання над основним полюсом, який пропорційний основному магнітному потоку. Встановлення датчика звільняє від необхідності вимірювання струму збудження та аналітичного визначення намагнічувальної сили якоря. Датчик магнітного потоку дозволяє враховувати перехідні режими роботи ТЕД, що досить складно зробити в розрахунках магнітного потоку машини лише при вимірюванні струму збудження. До того ж він дає можливість визначити напрям магнітного потоку, тобто напрям обертання якоря ТЕД.

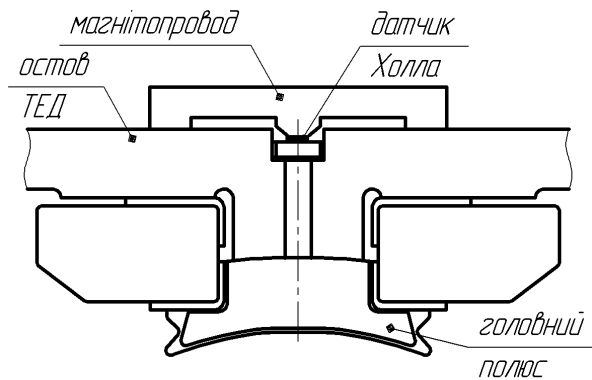


Рис. 7. Встановлення датчика магнітного потоку

Контроль навантаження ТЕД у паралельних електричних колах на тепловозі [9] та при груповому послідовному включенні ТЕД на електровозі [11] доцільно відстежувати вищенаведеними датчиками. Схема розташування датчиків на секції тепловоза серії 2ТЭ116 та канали передачі сигналів наведені на рис. 8.

Опитування вищевказаних датчиків необхідно виконувати з інтервалом часу 1 с. Отримані первинні дані необхідно перетворювати в цифровий формат високорозрядним аналогово-цифровим перетворювачем [10] та передавати через безпроводний канал зв'язку [13] на блок операційного обчислення.

Сила тяги секції тепловоза визначається як сума сил тяги КМБ, включених у паралельних електричних колах. Це значно зменшить похибку порівняно з розрахунками сили тяги локомотива за параметрами одного КМБ.

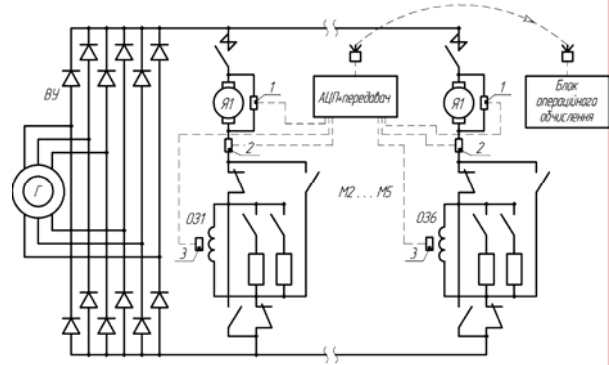


Рис. 8. Схема розташування датчиків на секції тепловоза серії 2ТЭ116:

1 – датчик напруги; 2 – датчик струму; 3 – датчик магнітного потоку

Результати

Випробування системи визначення сили тяги виконано на тяговому електродвигуні типу ЭД-105. Отримані первинні дані струму, напруги та магнітного потоку основних полюсів у інтервалі часу 0...240 с наведено на рис. 9. Регулювання електродвигуна здійснювалося шляхом зміни опору реостата, включеного послідовно із застосуванням ослаблення збудження.

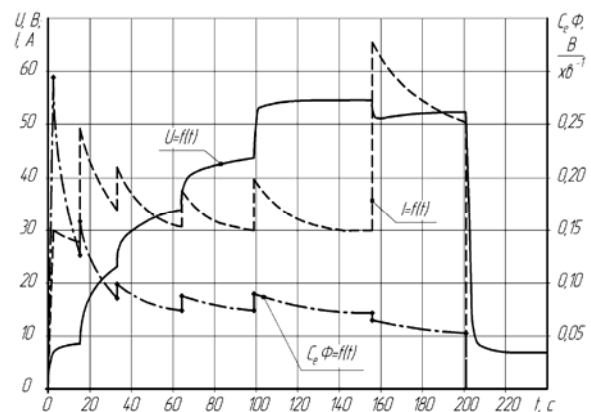


Рис. 9. Напруга, струм та магнітний потік ТЕД

Частота обертання та момент на валу якоря визначено за формулами (8) та (11). Результати наведено на рис. 10.

Виконано порівняння електричної та механічної потужностей (рис. 11). Визначено, що розбіжність значення електричної та механічної потужності КМБ має несталый характер.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

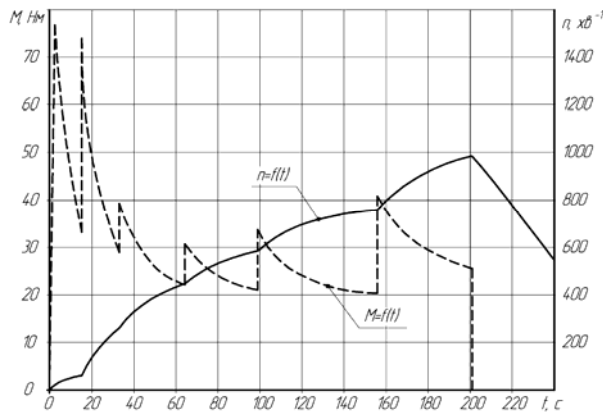


Рис. 10. Обортовий момент та частота обертання вала якоря ТЕД

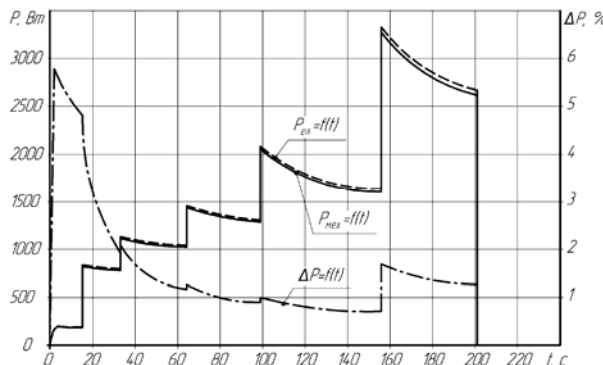


Рис. 11. Порівняння електричної та механічної потужностей ТЕД

Наукова новизна та практична значимість

Сила тяги локомотива визначається на тягових електродвигунах шляхом реєстрації параметрів, що безпосередньо створюють момент обертання колісних пар. Числові значення сили тяги можна знайти за наведеним алгоритмом.

У системах визначення енергоефективних режимів ведення поїздів при розробці режимних карт є необхідність врахування прискорювальних та сповільнювальних зусиль. Наведена система дозволяє оперативно отримувати значення сили тяги та сили гальмування поїзда.

Висновки

Проаналізовано фактори, що викликають нерівномірність навантаження ТЕД тягового рухомого складу. При аналізі методів визначення сили тяги локомотива виявлено недоліки, що призводять до похибки при її визначенні.

Запропонована система технічних рішень для визначення сили тяги локомотива з урахуванням розбіжностей у силі тяги КМБ, що дозволяє підвищити ефективність використання локомотивів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобринский, С. В. Анализ влияния разницы диаметров бандажей колесных пар на разброс токов в параллельных цепях тяговых электродвигателей и на надежность локомотива / С. В. Бобринский // Трансп. Урала. – 2009. – № 4. – С. 50–52.
2. Бобрь, Д. В. Усовершенствование режимов ведения грузового поезда с электрической тягой : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Бобрь Дмитрий Валерьевич ; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – 190 с.
3. Висин, Н. Г. Результаты исследований по повышению надежности работы системы автоматического управления в режимах тяги и рекуперативно-реостатного торможения на электропоездах ЭР2Т / Н. Г. Висин, Б. Т. Власенко, С. А. Соколов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 17. – С. 55–58.
4. Перевезенцев, Е. А. Составы ведут «Автомашинисты» / Е. А. Перевезенцев, А. И. Шемановский // Локомотив. – 2005. – Вып. 6. – С. 15–17.
5. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
6. Пястик, М. Системы автоматического ведения поезда / М. Пястик, Е. Толстов, И. Случак // Современные технологии автоматизации. – М., 2000. – Вып. 4. – С. 60–69.
7. Саблин, О. И. Система электрической тяги постоянного тока – система непостоянного тока / О. И. Саблин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 14. – С. 67–71.
8. Системы автоведения, регистрации параметров движения и работы тягового подвижного состава. Обзорное пособие. – М. : ООО «АВП Технология», 2011. – 96 с.
9. Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов, А. И. Гибапов, Е. А. Никитин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 334 с.
10. Устименко, Д. В. Сучасні мікроконтролери в схемах рухомого складу / Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 47–49.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

11. Электровоз ВЛ11^М. Руководство по эксплуатации. – М. : Транспорт, 1994. – 416 с.
12. Mahyar, V. Traction-Motor Power Ratio and Speed Trajectory Optimization for Power Split PHEVs Using Route Information / V. Mahyar, T. Amir, L. Nasser // Intern. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Vol. 11 : Transportation Systems. – Houston, 2012. – P. 301–308.
13. Peter, W. An Ensemble Empirical Mode Decomposition-Based Lossy Signal Compression Method for a Remote and Wireless Bearing Condition Monitoring System / W. Peter // Intern. Design Engineering Techn. Conf. and Computers and Information in Engineering Conf. Vol. 1 : 24th Conf. on Mechanical Vibration and Noise. Parts A and B. – Illinois, 2012. – P. 151–158.
14. Torben, O. Control of Oscillations in Electrically Driven Skid Steer Vehicles / O. Torben // Intern. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Design Engineering. – Washington, DC, 2009. – P. 17–23.

Б. Е. БОДНАР¹, М. И. КАПИЦА², Д. Н. КИСЛЫЙ^{3*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, эл. почта m.i.kapica@ua.fm

^{3*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (066) 625 18 59, эл. почта dmitriyakis@i.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ТЯГИ ЛОКОМОТИВА С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЗКИ КОЛЕСНО-МОТОРНЫХ БЛОКОВ

Цель. В статье рассмотрены наиболее распространенные способы определения силы тяги локомотива. Решение задач тяговых расчетов предусматривает определение сил, действующих на поезд в каждой точке пути. При выборе рациональных траекторий движения поезда и при разработке режимных карт ведения поезда необходимо определять фактическое значение силы тяги локомотива. С учетом различных факторов значения мощности ТЭД локомотива могут иметь значительные отличия. Целью является совершенствование системы оперативного определения силы тяги локомотива при тяговых расчетах по электрическим параметрам ТЭД за счет учета неравномерности нагрузки КМБ. **Методика.** Предложена методика определения силы тяги электровозов и тепловозов с электрической передачей, в основу которой положено получение первичных данных о режиме работы тяговых электродвигателей постоянного тока. Приведены датчики и схема их включения в электрическую схему тепловоза для получения данных в цифровом виде и оперативного расчета режима работы каждого тягового электродвигателя, а также определения силы тяги локомотива. **Результаты.** Проведено экспериментальное исследование системы определения силы тяги на тяговом электродвигателе ЭД–105. Проведено сравнение электрической и механической мощностей электродвигателя. **Научная новизна.** Предложена система оперативного определения силы тяги локомотивов, которая учитывает переменные электро-механические факторы колесно-моторных блоков и увеличивает точность расчетов. **Практическая значимость.** Система является составной частью бортового комплекса определения энергоэффективных режимов ведения поездов и обеспечивает определение ускоряющих и замедляющих сил.

Ключевые слова: тяговые расчеты; тяговые электрические машины; сила тяги; момент вращения; частота вращения; магнитный поток; электрическая мощность; механическая мощность

B. YE. BODNAR¹, M. I. KAPITSA², D. N. KYSLYI^{3*}¹Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 33 19 61²Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (0562) 33 19 61, e-mail m.i.capica@ua.fm^{3*}Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 625 18 59, e-mail dmitriy.kislyi@i.ua

DEFINITION OF LOCOMOTIVE TRACTION FORCE WITH REGARD TO UNEVEN LOADING OF WHEEL-MOTOR BLOCK

Purpose. The article describes the most common methods for determining the locomotive traction force. Solving the tasks of traction calculations involves determination of the forces influencing the train at every point of the way. When choosing a rational trajectory of the train motion and the development of operational regulations of train driving it is necessary to determine the actual value of the locomotive traction force. Considering various factors, power value of traction electric motor of locomotive may have significant differences. Advancement of the operational definition system of the locomotive traction force during the calculations by electrical parameters of traction electric motor with regard to uneven load of wheel-motor block is the purpose of the article. **Methodology.** The method of determining the traction force of locomotives and diesel locomotives with electric transmission, which is based on primary data acquisition of traction electric engines of direct current behavior, was proposed. Sensors and their integration into the electrical circuitry of the locomotive in order to get the data in digital form and for operational calculation of the each traction motor mode and the definition of locomotive traction force are presented. **Findings.** The experimental investigation of the system of locomotive traction force determination with the electric traction motor ED-105 was offered. A comparison of electrical and mechanical power of the electric motor was conducted. **Originality.** The system of locomotives power operational definition, which takes into account the variable electro-mechanical factors of wheel and motor blocks and increases the accuracy of the calculations, was proposed. **Practical value.** The system is a part of an onboard complex in definition of energy-efficient regimes for trains movement and provides the definition of accelerating and decelerating forces.

Keywords: traction calculations; traction electric machines; traction force; torque; rotational speed; magnetic flux; electrical power; mechanical power

REFERENCES

1. Bobrinskiy S.V. Analiz vliyaniya raznitsy diametrov bandazhey kolesnykh par na razbros tokov v parallelnykh tsepyakh tyagovykh elektrodvigately i na nadezhnost lokomotiva [Influence analysis of the difference in diameters of wheelsets bandages on the currents spread in parallel circuits of traction motors and the reliability of the locomotive]. *Transport Urala – Ural Transport*, 2009, no. 4, pp. 50-52.
2. Bobyr D.V. *Usovershenstvovaniye rezhimov vedeniya gruzovogo poyezda s elektricheskoy tyagoy*. Kand. Dis. [Improvement of regimes for freight trains with electric traction. Cand. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2007. 190 p.
3. Visin N.G., Vlasenko B.T., Sokolov S.A. Rezultaty issledovaniy po povysheniyu nadezhnosti raboty sistemy avtomaticheskogo upravleniya v rezhimakh tyagi i rekuperativno-reostatnogo tormozheniya na elektropoyezdakh ER2T [Research results on improvement of automatic control system reliability in the traction mode, regenerative and rheostatic braking on ER2T trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 17, pp. 55-58.
4. Perevezentsev Ye.A., Shemanovskiy A.I. Sostavy vedut «Avtomashinisty» [«Automatic train drivers» drive the trains]. *Lokomotiv – Locomotive*, 2005, issue 6, pp. 15-17.
5. *Pravila tyagovykh raschetov dlya poyezdnoy raboty* [Rules of traction calculations for train operation]. Moscow, Transport Publ., 287 p.
6. Pyasik M., Tolstov Ye., Sluchak I. Sistemy avtomaticheskogo vedeniya poyezda [Automatic train driving systems]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii – Modern automation technologies*, 2000, issue 4, pp. 60-69.
7. Sablin O.I. Sistema elektricheskoy tyagi postoyannogo toka – sistema nepostoyannogo toka [The system of direct current electric traction is a system of non-direct current system]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 14, pp. 67-71.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

8. *Sistemy avtovedeniya, registratsii parametrov dvizheniya i raboty tyagovogo podvizhnogo sostava. Obzornoye posobiye* [System of automatic train operation, motion parameters recording and operation of traction rolling stock. Survey guide.]. Moscow, ООО «AVP Tekhnologiya» Publ., 2011. 96 p.
9. Filonov S.P., Gibalov A.I., Nikitin Ye.A. *Teplovoz 2TE116* [Diesel 2TE116]. Moscow, Transport Publ., 1996. 334 p.
10. Ustyomenko D.V. Suchasni mikrokontrolery v skhemakh rukhomoho skladu [Modern microcontrollers in the rolling stock schemes]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 47-49.
11. *Elektrovoz VL11^m. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric locomotive VL11^m Operations manual]. Moscow, Transport Publ., 1994. 416 p.
12. Mahyar V., Amir T., Nasser L. Traction-Motor Power Ratio and Speed Trajectory Optimization for Power Split PHEVs Using Route Information. Int. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Vol. 11: Transportation Systems. Houston, 2012, pp. 301-308.
13. Peter W. An Ensemble Empirical Mode Decomposition-Based Lossy Signal Compression Method for a Remote and Wireless Bearing Condition Monitoring System. Int. Design Engineering Techn. Conf. and Computers and Information in Engineering Conf. Vol. 1: 24th Conf. on Mechanical Vibration and Noise. Parts A and B. Illinois, 2012, pp. 151-158.
14. Torben O. Control of Oscillations in Electrically Driven Skid Steer Vehicles. Int. Mechanical Engineering Congress and Exposition. Design Engineering. Washington, DC, 2009, pp. 17-23.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. М. Мухомою (Україна); ВО начальника служби локомотивного господарства Придніпровської залізниці В. С. Любкою (Україна)

Прийнята до друку 20.09.2013

Надійшла в редколегію 07.11.2013