

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

ГОРОБЧЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.4.016:621.313.222

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛОКОМОТИВІВ ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА
ВИКОРИСТАННЯ ЗЧПНОЇ МАСИ**

05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
доктор технічних наук, професор
Колесник Іван Кузьмич

Харків-2007

З М І С Т

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ОЦІНКА СИСТЕМ	
ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	
1.1. Вплив нерівномірності розподілу потужностей на експлуатаційні показники рухомої одиниці і основні напрямки рішення завдання	11
1.2. Загальні вимоги до пристроїв вирівнювання нерівномірності потужностей.	14
1.3. Аналіз способів і оцінка відомих технічних рішень	17
1.3.1. Регулювання опорів у колах обмоток збудження тягових електродвигунів	18
1.3.2. Введення додаткових напруг у якірне коло	19
1.3.3. Регулювання напруг живлення тягових електродвигунів	20
1.3.4. Регулювання магнітних потоків збудження	23
1.4 Аналіз способів покращення розподілу навантажень між колісними парами	34
1.5 Результати аналізу і постановка завдань досліджень	38
1.6. Висновки по розділу 1	40
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ СТРУМОРОЗПОДІЛУ В СИЛОВИХ КОЛАХ	
ЛОКОМОТИВІВ	
2.1. Аналіз надійності роботи силового кола локомотива ДЕ1	41
2.2. Дослідження струморозподілу в силовому колі локомотива ДЕ1	43
2.2.1. Опис і робота складових частин системи “Магістраль-ДЕ1”	43
2.2.2. Результати статистичної обробки даних.	46
2.3. Дослідження струморозподілу в силовому колі локомотива ВЛ8	64
2.4. Висновки по розділу 2	64

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА СТРУМОРОЗПОДІЛ В ПАРАЛЕЛЬНИХ ГІЛКАХ СИЛОВОГО КОЛА	66
3.1. Вплив граничних відхилень параметрів при статичних режимах роботи електродвигунів	66
3.1.1. Різниця магнітних характеристик	66
3.1.2. Відхилення опорів якірних кіл	69
3.1.3. Відхилення опорів кіл збудження	71
3.1.4. Зміни діаметрів бандажів колісних пар	72
3.2. Розробка способу аналітичного розрахунку сукупного впливу конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на струморозподіл	73
3.2.1. Дослідження залежності відхилення опорів від температури нагрівання	80
3.2.2. Визначення умови відсутності різниці струмів	83
3.3. Аналіз статистичних даних факторів, що впливають на нерівномірність струморозподілу	84
3.3.1. Аналіз варіацій швидкісних характеристик за даними експлуатації	84
3.3.2. Статистичний аналіз відхилень діаметрів бандажів колісних пар за даними експлуатації	87
3.3.3. Зіставлення нерівномірностей струморозподілень, розрахованих по граничному та імовірнісному законах	89
3.4. Висновки по розділу 3.	93
РОЗДІЛ 4 СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИЛОВОГО КОЛА ЕЛЕКТРОВОЗА	95
4.1. Моделювання силового кола в динамічних режимах	97
4.1.1. Вплив вихрових струмів у магнітопроводах на протікання перехідних процесів	97

4.1.2. Індуктивність обмоток тягових машин	104
4.1.3. Складання рівнянь перехідних процесів	109
4.2. Підвищення ефективності використання зчіпної маси локомотива	113
4.2.1. Розрахунок перерозподілу навантажень між осями локомотива в режимі тяги	117
4.2.2. Визначення використання зчіпної маси при різних варіантах установки тягових електродвигунів	121
4.2.3. Розробка способу установки ТЕД під локомотивом з урахуванням їх електромеханічних характеристик	129
4.3. Пристрій підвищення використання зчіпної маси локомотива	134
4.3.1. Елементна база пристрою	134
4.3.2. Принципова схема пристрою	138
4.4. Побудова комплексної математичної моделі силового кола електровоза	141
4.4.1. Створення моделі тягового електродвигуна	142
4.4.2. Створення моделі опору руху	145
4.4.3. Компонування моделі	147
4.4.4. Робота комп'ютерної математичної моделі силового кола	148
4.5. Висновки по розділу 4.	155
РОЗДІЛ 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗЧІПНОЇ МАСИ ЛОКОМОТИВІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	157
5.1. Результати дослідження локомотивів в експлуатації	157
5.1.1. Оцінка характеристик колісно-моторних блоків локомотивів ВЛ8	157
5.2. Визначення локомотивів з найменшим коефіцієнтом використання зчіпної маси	161
5.3. Аналіз роботи локомотивів з перегрупованими колісно- моторними блоками	162

5.4. Економічна ефективність перегрупування колісно- моторних блоків залежно від їхніх характеристик	165
5.5. Висновки по розділу 5.	169
ВИСНОВКИ	171
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	174
Додаток А	183
Додаток Б	185
Додаток В	189
Додаток Г	190

ВСТУП

Однією з умов соціального і економічного розвитку України є вдосконалення транспортного обслуговування. У рішенні цього завдання важлива роль належить залізницям, як одним з найбільш потужних і технічно досконалих видів вантажного транспорту. Розробка і виробництво високоефективних технічних засобів залізниць, зокрема, рухомого складу з підвищеними тягово-енергетичними показниками, є важливим народногосподарським завданням [1-2].

Актуальність теми. Досвід використання локомотивів показує, що ефективність їхньої роботи можна істотно збільшити шляхом більш повного використання зчіпної маси, потужності тягових електродвигунів і вдосконалення систем керування тяговим електроприводом.

Існуючі схемні рішення і алгоритми керування не дозволяють повністю реалізувати потенційні можливості тягового рухомого складу як у плані використання зчіпної маси, так і електроустаткування. Одну з основних ролей тут відіграє нерівномірність використання потужностей двигунів. Це обумовлено немінучими відхиленнями характеристик тягових електродвигунів, параметрів резисторів, діаметрів бандажів колісних пар по колах катання і інших причин, обумовлених конструктивними, технологічними і експлуатаційними факторами.

Нерівномірність струморозподілу, крім погіршення тягових і гальмових властивостей рухомої одиниці за умовами використання сил зчеплення коліс із рейками, визначає розходження умов нагрівання обмоток, що у свою чергу впливає на термін служби ізоляції і всієї машини в цілому.

Фактор нерівномірності потужностей збільшується немінучою нерівністю навантажень на рейки від колісних пар, що може бути наслідком як неточності статичного розважування, так і динамічного перерозподілу

при реалізації сили тяги. Це приводить до недовикористання зчіпної маси тягової одиниці.

У зв'язку з викладеним завданням зниження негативного впливу нерівності навантажень по осях у комплексі зі зменшенням нерівномірності струморозподілу є актуальним для подальшого вдосконалювання роботи тягового рухомого складу.

У даній роботі запропоноване рішення цього завдання. Розроблені автором способи підвищення ефективності використання тягових якостей локомотива і принцип пристрою дозволяють вирівнювати струми навантаження в групах двигунів з коректуванням за умовами зчеплення.

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

Викладені в дисертації питання є частиною наукових розробок за рішенням проблеми підвищення ефективності експлуатації тягового рухомого складу (№ ДР 0105U000899 – Прогнозування характеристик маневрових, магістральних тепловозів та дизель-поїздів з урахуванням життєвого циклу), програм по розробці і виробництву нового рухомого складу, затвердженим Кабінетом Міністрів України (Постанови Кабінету Міністрів №313-р від 22.10.1991 р., №66-р від 03.02.1992 р. і №992 від 1.07.1998р.).

Мета і завдання досліджень.

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні тягових характеристик локомотивів за рахунок збільшення коефіцієнта використання зчіпної маси і зниження нерівномірності струморозподілу між паралельними гілками силового кола, що досягається введенням додаткових умов розміщення колісно-моторних блоків і вдосконаленням системи регулювання двигунів.

Завдання досліджень:

- аналіз відомих технічних рішень і їхня оцінка відповідно до прийнятих критеріїв якості використання тягових властивостей локомотивів;

- установлення величини граничної нерівномірності струморозподілу в статичних і перехідних режимах роботи локомотивів і зіставлення їх з експериментальними даними;

- розробка способу підвищення ступеня використання зчіпної маси;

- розробка способу функціонування системи зменшення нерівномірності струмів з коректуванням за умовами зчеплення;

- аналіз ефективності пропозицій по поліпшенню використання тягових властивостей локомотивів за допомогою комплексної математичної моделі силового кола і експлуатаційних випробувань;

- визначення взаємозв'язку між величиною коефіцієнта використання зчіпної маси та витратами електроенергії на тягу.

Об'єкт дослідження. Локомотив.

Предмет дослідження. Тягові характеристики локомотивів.

Методи дослідження. В роботі використані наступні методи:

- вимірювання з використанням системи діагностування локомотива для дослідження нерівномірності струморозподілу в силових колах локомотивів, що експлуатуються,

- математичної статистики для аналізу процесів в електричних колах, аналізу варіацій швидкісних характеристик двигунів і діаметрів бандажів за даними експлуатації;

- математичного моделювання, з використанням програмного комплексу на базі персональної ЕОМ для створення комплексної математичної моделі силового кола і дослідження її з метою виявлення шляхів підвищення тягових властивостей локомотивів.

- експериментальні для оцінки ефективності запропонованих заходів шляхом впровадження їх в депо і дослідження експериментальних локомотивів;

Наукова новизна отриманих результатів.

Вирішена науково-прикладна задача підвищення рівня використання тягових властивостей локомотивів за рахунок збільшення коефіцієнта використання зчіпної маси і зниження струморозподілу в силових колах. Це

дозволило покращити тягові та енергетичні характеристики тягового рухомого складу і підвищити техніко-економічні показники його функціонування.

Вперше:

- виявлено взаємозв'язок між такими параметрами: конструкція тягових двигунів; нерівномірність струморозподілення; відхилення характеристик колісно-моторних блоків; коефіцієнт використання зчіпної маси локомотива і його змінення в несталих режимах роботи;

- доведена залежність між коефіцієнтом використання зчіпної маси і витратою електроенергії на тягу.

Удосконалено:

- спосіб визначення впливу параметрів і розташування колісно-моторних блоків під локомотивом на коефіцієнт використання зчіпної маси;

- спосіб визначення особливостей взаємного впливу параметрів силових кіл тягових двигунів, з'єднаних у систему.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень.

Обґрунтованість і достовірність отриманих наукових положень доводиться аналітичними методами що відображають фізичну сутність процесів в силовому колі локомотива; експериментальними методами (створена комплексна математична модель силового кола). Крім того проведено підтвердження практикою, розбіжність результатів приведених положень з реальними показниками при впровадженні їх в депо не перевищує 3,5% на номінальному режимі і 9% в діапазоні швидкостей від 1,6 км/год до 76 км/год.

Наукове значення роботи. Отримані наукові результати дозволяють визначити нові напрямки підвищення тягових властивостей локомотивів. Виявлені залежності між параметрами є доповненням до теорії тяги поїздів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблений спосіб розміщення колісно-моторних блоків з урахуванням їх характеристик дозволила підвищити ефективність експлуатації електровозів постійного

струму за рахунок економії електроенергії і більш якісного використання зчїпної маси і потужності тягових електродвигунів.

Визначення впливу зміни коефіцієнта використання зчїпної маси на витрату електроенергії дозволило з достатньою точністю спрогнозувати зниження енерговитрат на тягу кожним конкретним локомотивом при впровадженні на ньому запропонованого способу розташування колісно-моторних блоків.

Результати роботи впроваджені в локомотивному депо Ясинувата-Захід, використовуються в навчальному процесі при викладанні спеціальних дисциплін і дипломному проектуванні за фахом 7.100 501 - "Рухомий склад і спеціальна техніка залізниць".

Особистий внесок автора. Всі положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Особистий внесок автора в дисертаційну роботу зводиться до: аналізу відомих технічних рішень, створенню способу оцінки нерівномірності струморозподілу, розробці вдосконаленого способу розміщення колісно-моторних блоків під локомотивом, розробці комплексної математичної моделі силового кола електровоза, виявлення взаємозв'язку між низкою параметрів, що впливають на тягові властивості локомотивів.

Апробація результатів роботи.

Апробація результатів дисертаційної роботи зроблена на 65 Міжнародній науково-практичній конференції в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту (2005р.) і науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і співробітників Української державної академії залізничного транспорту (2006р.)

Публікації.

Відповідно до теми дисертації опубліковано 5 наукових статей у виданнях, що затверджені ВАК України, як фахові (всі без співавторів).

Додатково в інших виданнях за темою дисертації опубліковано 2 статті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України “Про транспорт” (Відомості Верховної Ради (ВВР), 1994, N 51, ст.446) (Із змінами, внесеними згідно із Законами N 642/97-ВР від 18.11.97, ВВР, 1998, N 10, ст.36 N 650/97-ВР від 19.11.97, ВВР, 1998, N 11-12, ст.41 N 507-XIV (507-14) від 17.03.99, ВВР, 1999, N 18, ст.138)
2. Статут залізниць України від 6 квітня 1998р. // Офіційний вісник України. – 1998. - №14. – С. 548
3. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Ленинград: Энергия, 1967. – 432 с.
4. Устройство для управления тяговым приводом электровоза с двигателями транспортного средства: Ах. №1463550 СССР. МПК⁴ В60 L 15/20 / А.Д.Винс, Г.А.Зырянова, Ю.Г.Колоколкин (СССР). - №4252076/24-11; Заявл. 28.05.87; Опубл. 07.03.89, Бюл. №9. – 3 с.
5. Устройство для управления тяговым приводом электровоза с двигателями независимого возбуждения: А.с. №1676859 СССР. МПК В60 L 15/20. / А.В.Беляев, В.Н.Бротякин, А.А.Ефремов, П.Е.Коваль, М.В.Напрасник, В.С.Островский (СССР). – №4728132/11; Заявл. 09.08.89; Опубл. 15.09.91, Бюл. №34. - 4 с.
6. Устройство для управления тяговым приводом электровоза с двигателями независимого возбуждения: А.с. №1646921 СССР. МПК В60 L 15/20. / Н.С.Назаров, В.В.Макаров (СССР). – №4622285/11; Заявл. 19.12.88; Опубл. 07.05.91, Бюл.№17. – 4 с.
7. Исследование токораспределения между тяговыми электродвигателями подвижного состава метрополитена и эксплуатационные испытания смотехнических решений по оптимизации токораспределения: Отчет о НИР / ХИИТ; ГР 018900453; – Харьков, 1989. – 66 с.
8. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надежность и ремонт. / Под ред. А.Т. Головатого, П.И. Борцова. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.

9. *Устройство* для регулирования силы тяги электродвигателей автономного транспортного средства: А. с. №1400919 СССР. МПК⁴ В60 L 11/02. / В. П. Гринкевич, Е. Д. Шандриков, А. А. Будницкий (СССР). – №4112387/25–11; Заявл. 26.08.86; Оpubл. 07.06.88, Бюл. №21. – 3 с.
10. *Устройство* для распределения нагрузок тяговых электродвигателей тепловоза: А.с. №1779626 А1 СССР. МПК⁵ В60 L 11/02. / О.И.Новиков, Г.Я.Беляев (СССР). – №4808660/11; Заявл. 04.04.90; Оpubл. 07.12.92, Бюл. №45. – 6 с.
11. Пат. №2031013 РФ. МПК⁶ В60 L 11/04. Устройство для распределения токов генератора между параллельными цепями тяговых электродвигателей последовательного возбуждения разгруженных и догруженных колесных пар тепловозов О.И.Новиков (РФ). – 5051891/11; Заявл. 07.07.92; Оpubл. 20.03.95, Бюл. №8. – 4с.
12. *Устройство* для управления тяговым приводом электровоза: А.с. №1158396 СССР. МПК⁴ В60 L 15/20. / В.И.Баклушин, Е.Г.Балабуев, В.Т.Загорский, Б.И.Иванов, Ю.Г.Колоколкин, Г.В.Львов, Я.Е. Марченко, А.И.Чабанов (СССР). №2967216/27–11; Заявл. 30.06.80; Оpubл. 30.05.85, Бюл. №20. – 3 с.
13. *Устройство* для управления тяговым приводом электровоза с двигателями транспортного средства: А.с. №1452722 СССР. МПК В60 L 15/20. / А.Д.Винс (СССР).– №4300066/26-11; Заявл. 06.07.87; Оpubл. 23.01.89, Бюл. №3. – 3 с.
14. *Устройство* для управления тяговым приводом электровоза с двигателями независимого возбуждения: А.с. №1646921 СССР. МПК В60 L 15/20. / Н.С.Назаров, В.В.Макаров (СССР). – №4622285/11; Заявл. 19.12.88; Оpubл. 07.05.91, Бюл. №17. – 4 с.
15. *Устройство* для рекуперативного торможения электроподвижного состава: А.с. №224450 СССР. МПК В60 L 7/12. / В.Г. Галкин (СССР). – №41124423; Заявл.15.01.69; Оpubл. 06.12.70, Бюл. №6. – 2 с.

16. *Устройство* для рекуперативного торможения электроподвижного состава: А. с. №289005 СССР МПК В60L 7/12. / Р. Я. Медлин, Ю. Н. Ликратов (СССР). – №41945821; Заявл. 09.12.69; Оpubл. 1971, Бюл. №1. – 3 с.
17. *Нафиков Г.М.* Выравнивание нагрузок по секциям электровоза постоянного тока при рекуперативном торможении // Вопросы улучшения тяговых, энергетических и эксплуатационных свойств электровозов. Межвуз. сб. науч. трудов. – Уральский электромеханический ин-т инж. ж.-д. тр-та. 1978. – С.34–37.
18. *Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М.* Подвижной состав электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, – 1980. – 471 с.
19. *Электропривод* транспортного средства: А.с. №1288107 СССР. МПК В60 L 11/04. / В.И.Шафранский (СССР). – №3585336/24–11; Заявл. 28.04.83; Оpubл.07.02.87. Бюл. №5. – 2 с.
20. *Исаев И. П.* Допуски на характеристики электрических локомотивов. М.: Трансжелдориздат, – 1958. – 53 с.
21. *Тяговый электропривод* транспортного средства: Ах. №1511161 СССР. МПК В60 L 11/04. / В.И.Шафранский (СССР). – №3928509/24–63; Заявл. 16.07.85; Оpubл.30.09.89, Бюл. №36. – 2 с.
22. *Далека В. Ф., Хворост Н. В., Минеева Ю. В.* К вопросу о неравномерности токораспределения между тяговыми электродвигателями / Республиканский межвед. науч.–техн. сб. «Коммунальное хозяйство городов» Вып. 6. – К.: Техніка, – 1996. – С. 91–97.
23. *Устройство* для выравнивания вращающих моментов тяговых электродвигателей вагонов метрополитена: А. с. №1799753 СССР. МПК В60 L15/20. / В. Е. Гайдуков, О. Ф. Демченко (СССР). – №4887442/11; Заявл. 04.12.90; Оpubл. 07.03.93, Бюл. №9. – 2с.
24. Исследование токораспределения между тяговыми электродвигателями подвижного состава метрополитена, разработка и эксплуатационные испытания схематических решений по оптимизации токораспределения:

- Отчет о НИР, ХИИТ, – №ГР 018900453. – Харьков, 1990. – 60 с.
25. *Тяговый* электропривод рельсового транспортного средства: Ах. №1572848 СССР. МПК В60 L 11/04. / В.Е.Гайдуков, Б.П.Соколов, С.Н.Краснянская, В.П.Андреченко (СССР). – №4192921/27–11; Заявл. 09.02.87; Оpubл. 23.06.90, Бюл. №23. – 2 с.
26. *Устройство* для равномерного распределения нагрузок между тяговыми электродвигателями двух секций электровозов постоянного тока: Ах. №302263 СССР. МПК В60 L 15/20. / И.Б.Башук., В.Н.Ляпустин (СССР). – №1415324107;. Заявл. 26.03.70; Оpubл. 15.12.92, Бюл. №46. – 3 с.
27. *Туунов А.Ф., Тупицын О.И.* Рекуперативное торможение на магистральных электровозах постоянного тока. – М.: Транспорт, 1979. – 160 с.
28. *Устройство* для управления тяговым приводом электровоза с двигателями независимого возбуждения: Ах. №1079493 СССР. МПК В60 L 15/20. / В.М.Свердлов, А.М.Рутштейн, А.И.Назаров, Б.И.Хоменко, Н.С.Назаров, В.Д.Мациев (СССР). – №3526151/24–11; Заявл. 21.09.82. Оpubл. 15.03.84, Бюл. №10. – 6 с.
29. *Устройство* для выравнивания нагрузок тяговых электродвигателей подвижного состава: А.с. №1232521 СССР. МПК В60 L 15/20. / А.Н.Крыгин, Н.С.Назаров (СССР). – №3859253/24–11; Заявл. 21.02.85. Оpubл. 23.05.86, Бюл. №19. – 4 с.
30. Patent №3567 345, Cl 318–52, (USA) Plural motor control for a locomotive with anti-slip and load Distribution. / Beening E.F. Filed №212346, 2.7.63.
31. Patent №1 120346, Int. Cl. B61h, (BRD) Antriebsanordnung ziir elektrische Triebfahrzeuge mit fahrsicherheitsbremse / Fengoas P.. Annaldetag №839995, 20.9.61.
32. *Бычковский А. В., Михненко Е. Ф., Беспалов И. П.* Измерение давления колеса на рельс при движении электровоза // Весник ВНИИЖТ. – 1964. – №6. – С. 13–16.
33. *Фаминский Г. В., Менишутин Н. Н., Филатова Л. М.* Улучшение тяговых

- свойств электровозов при поосном регулировании силы тяги с контролем сцепления // М.: Тр. ЦНИИ МПС. – 1968, вып. 78. – С. 80-110.
34. *Krettek O.* Die Scheuderwahrscheinlichkeit von Sehiemen-fahrzengen und die Plobleme bei des Berechnung // Elektrische Bahuen. – 1976. – № 11, 12, – P. 266-270, 292-295.
35. *Некрасов О. А., Паликов А. М.* Тяговые особенности грузовых электровозов для перспективных условий. // Ж.-д. транспорт. – 1979, № 2. – С. 40-43.
36. *Медель В. Б.* Подвижной состав электрических железных дорог (Конструкция и динамика). – М.: Транспорт, 1974. – 340 с.
37. *Магистральные электровозы. Механическая часть электровозов.* / Под ред. П. И. Абрамкина, Д. Г. Белогорского и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 312 с.
38. *Вериго М. Ф., Коган А. Я.* Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 225 с.
39. *Бирюков И. В., Савоськин А. Н., Бурчак Г. П.* и др. Механическая часть тягового подвижного состава. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
40. *Хлебников В. Н.* Конструкция электровозов. Механическая часть. – М.: Машиностроение, 1964. – 188 с.
41. *Медель В. Б.* Проектирование механической части электроподвижного состава. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 225 с.
42. *Исаев И. П., Перова А. А., Бурчак Г. П.* Расчет конструкции электроподвижного состава на вычислительных машинах. – М. Транспорт, 1966. – 175 с.
43. *Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М.* Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 425 с.
44. *Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам. Том 1* / Под ред. А. И. Тищенко. – М.:Транспорт 1976. – 432 с.

45. *Исаев И. П.* Стабильность характеристик электрических локомотивов. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 118 с.
46. *Захарченко Д. Д., Шляхто П. Н.* Подвижной состав электрических железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 235 с.
47. *Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов* / Под ред. С.И. Осипова – М.: Транспорт, 1984. – 280 с.
48. *Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М.* Подвижной состав электрических железных дорог. – М.: Трансжелдориздат, 1951. – 484 с.
49. *Колесник И. К., Черняк Ю. В., Горобченко А. Н.* Анализ неисправностей электровоза ДЭ1 // 36. наук. праць ДонІЗТ. Вип. 1– Донецьк, 2005. – С. 38-45.
50. *Горобченко А. Н.* Метод расчета токов в параллельных ветвях силовой цепи // 65 Международная научно–практическая конференция «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (тезисы докладов). – Днепропетровск, 2005. – С. 120–121.
51. *Должиков С.Н., Парамзин В.П., Сенкевиц И.В.* Граф–модель тягового электродвигателя тепловоза. // Исследование надежности и экономичности дизельного подвижного состава. ОмИИТ. – Омск, 1978. – С. 43-48.
52. *Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А., Горчаков Е. В.* Тяговые электрические машины и трансформаторы – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.
53. *Правила* тяговых расчетов для поездной работы – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
54. *Правила* ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. №ЦТ–0063 – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2001. – 286 с.
55. *Горобченко О. М.* Дослідження нерівномірності струморозподілення в силових ланцюгах локомотивів // 36. наук. праць ДонІЗТ. Вип. 3– Донецьк, 2005. – С. 97-104.
56. *Вольдек А.И.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

57. *Френкель Я.И.* Теория электрических контактов между металлами – М.:ЖЭТФ вып. 4, – 1946. – 158 с.
58. *Гальперин Б.С.* К вопросу о проводимости электрического контакта, М.:ЖТФ вып 9, – 1952. – 56 с.
59. *Горобченко О. М.* Визначення динамічної умови відсутності різниці струмів в паралельно працюючих електродвигунах // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, вип. 68. – Харків 2005. – С. 215–222.
60. *Трегуб А.П.* Электротехника – К.: Вища школа, 1987. – 600 с.
61. *Черняк Ю. В., Горобченко А. Н.* Влияние отклонения скоростных характеристик на токи тяговых электродвигателей // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Вип. 2 – Донецьк, 2005. – С.69–77.
62. *Осипов С.И., Миронов К.А., Ревич В.И.* Основы локомотивной тяги. – М.: Транспорт, 1972. – 336 с.
63. *Некрасов О. А.* Взаимосвязь между условиями работы электроподвижного состава и нагреванием обмоток тяговых двигателей. Тр. ЦНИИ МПС вып. 576 –М., 1977. – С. 40—65.
64. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.
65. *Павленко А.П., Осинковский О.А.* Математическое моделирование динамических процессов в системе тягового электропривода тепловозов. Вісник Східно-українського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – С. 34-42.
66. *Павленко А.П., Кийко А.И., Осинковский О.А.* Моделирование систем «тяговый электропривод–микропроцессорное устройство предупреждения боксования колесных пар» грузовых локомотивов. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – С. 72-83.
67. *Глуценко А.Д., Юшко В.И.* Динамика тяговых электродвигателей тепловозов. – Ташкент: Изд. «ФАН» Узбекской ССР, 1980. – 168 с.

68. *Проектирование* тяговых электрических машин / Под ред. М. Д. Находкина. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.
69. *Жиц М. З.* Переходные процессы в машинах постоянного тока. – М.: Энергия, 1971. – 112 с.
70. *Гаврилов Я.И., Матюшин В.А., Розенберг Б.М.* Исследование электромагнитных процессов в тяговых машинах вагона метрополитена в режиме рекуперативного импульсного торможения. Сборник МИИТ вып. 789. – М., 1987. – С. 118-126.
71. *Режимы* работы магистральных электровозов / Под редакцией Н. О. Некрасова. – М. Транспорт, 1983. – 231 с.
72. *Волков Г.Н.* Повышение эффективности противобоксочной защиты и тяговых свойств электровоза ВЛ 10. ВНИИЖТ. Сборник трудов. Вып. 419. – М.: Транспорт, 1970. – С. 7-13.
73. *Шарпан Є.М.* Наукові основи удосконалення протибуксовочних систем тепловозів. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – С. 43-50.
74. *Минов Д. К.* Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. – М.: Транспорт, 1965. – 268 с.
75. *Горобченко А. Н.* Размещение электродвигателей под локомотивом с учетом их характеристик // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №2. – С. 69-72.
76. *Развитие* локомотивной тяги. / Фуфрянский Н. А., Нестрахов А. С., Долганов А. Н., Каменев Н. Н.; Под ред. Н. А. Фуфрянского, А. Н. Бевзенко. – М.: Транспорт, 1982. – 303 с.
77. *Головатый А. Т., Некрасов О. А.* Проблемы коэффициента сцепления электровозов. // Вестник ВНИИЖТ. – 1975. – № 7. – С. 1—5.
78. *Головатый А. Т., Некрасов О. А., Палихов А. М.* Коэффициент сцепления колес электровозов с рельсами при многократной тяге // Ж.-д. трансп. – 1976. – № 10. – С. 20—22.
79. *Kraft K.* Die Kupplung // Elektrischen Bahnen. – 1968. – № 6. – P. 18.

80. *Потапов А. С, Лисицын А. Л., Ребрик С. Б.* Коэффициент сцепления грузовых электровозов // Тр. ЦНИИ МПС. вып. 478. – М.: 1972. – С. 14—21.
81. *Горобченко О. М.* Вдосконалення методики розміщення електродвигунів під локомотивом з урахуванням їх характеристик // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, вип. 72. – Харків 2006. – С. 98–103.
82. *Розгачёв К.Д.* Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT): Устройство и особенности работы М.:, 2004.- [Цит. 2005, 18 грудня].- Доступний з:<
<http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/transistor.htm>>.
83. *Гольдфарб Л. С., Балтрушевич А. В.* и др. Теория автоматического управления. Ч. 1 / Под ред. А. В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1968. – 424 с.
84. *Гольдфарб Л. С., Балтрушевич А. В.* и др. Теория автоматического управления. Ч. 2 / Под ред. А. В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1972. – 432 с.
85. *Бесекерский В. А., Попов Е. П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 768 с.
86. *Справочник по электроизмерительным приборам / К. К. Илюнин, Д. И. Леонтьев и др.* – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 784 с.
87. *Синчук О.Н.* Комбинаторика преобразователей тягового электропривода постоянного тока. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2004. – С. 51-56.
88. *Потемкин В.Г.* Введение в Matlab (v 5.3) М.:, 2001.- [Цит. 2006, 15 лютого].- Доступний з:<
http://matlab.exponenta.ru/ml/book1/matlab/chapter0/0_0.php>.
89. *Черных И.В.* "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем" – М.:, 2005.- [Цит. 2006, 5 січня].- Доступний з:<
<http://matlab.exponenta.ru>. >.

90. *Бычковский А. В., Михненко Е. Ф., Беспалов И. П.* Измерение давления колес на рельсы при движении электровоза. // Вестник ВНИИЖТ. –1964. – № 6. – С. 13—16.
91. *Інструкція з технічного обслуговування електровозів і тепловозів в експлуатації №ЦТ–0056.* – К.: Поліграфсервіс, 2003. – 160 с.
92. *Горобченко А. Н.* Методика расчета токов в силовой цепи электровоза // Зб. наук. праць ДонІЗТ. Вип. 5– Донецьк, 2006. – С. 119-128.
93. *Галкин В. Г., Парамзин В. П., Четвергов В. А.* Надежность тягового подвижного состава. – М.:Транспорт, 1981. – 184 с.