УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
Факультет «Механіко-енергетичний »
Кафедра «Експлуатації та ремонту рухомого складу»

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РУХУ ВАНТАЖНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи
МКРМЕ.510.14.01.ПЗ

Виконав:
студент групи 211-ЛЛГ-323
спеціальності 273 «Залізничний транспорт
Освітня програма «Локомотиви та
локомотивне господарство транспорт»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

Роман ОНИЩЕНКО

Керівник:
професор, д-р техн. наук

Денис ЖАЛКІН

Рецензент:
доцент, к-т техн. наук

Сергій МИХАЛКІВ

Харків − 2025 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»
Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф.

_____В.Г. Пузир
(підпис)
_____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Онищенку Роману Олександровичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з вибору раціональних режимів руху вантажних тепловозів»; керівник роботи Жалкін Денис Сергійович, д.т.н., професор; затверджена розпорядженням по механічному факультету від «30» вересня 2024 року № 38 .
2. Строк подання студентом роботи «01» січня 2025 року.
3. Вихідні дані Технічні характеристики тепловозів 2ТЕ116 та 2ТЕ10М. Статистична звітність по роботі підприємства. Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо; Технічна документація тепловозів; Правила ремонту тепловозів; Інструкція з технічних обслуговувань тепловозів; Нормативні накази АТ «Укрзалізниця».
4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Опис конструкції тепловозів 2. Методи виконання тягових розрахунків і оптимальних тягових розрахунків 3. Нейромережевий метод виконання тягових розрахунків для завдань оптимізації руху вантажних тепловозів. 4. Визначення оптимальної режимів руху вантажних тепловозів. 5. Економічний ефект від руху за оптимальними траєкторіями.
5. Перелік графічного матеріалу 1. Ціль та задачі роботи. 2. Основні параметри вантажних тепловозів. 2. Методи виконання тягових розрахунків. 4. Вихідні дані для розрахунків. 6. Результати розрахунків часу ходу та витрат палива для різних мас складу 7. Вибір раціональних режимів руху. 8. Параметри ШНМ для тягових розрахунків. 9. Висновки.

6. Консультанти окремих розділів .

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Яковенко В.Г., доцент, кандидат економ. наук		

7. Дата видачі завдання «15» травня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на магістерську роботу.	15.05-25.05	Виконано
	Формування змісту та етапів роботи.		
2	Збирання та обробка статистичної інформації.	25.05-25.06	Виконано
3	Виконання роботи по розділам магістерської		
	роботи. Аналіз одержаних даних, їх обробка.	25.06-25.09	Виконано
4	Перевірка виконаних завдань у керівника		
	магістерської роботи, виправлення помилок,	25.09-25.10	Виконано
	виконання робіт по розділам консультантів.		
5	Робота над оформленням графічної частини	25.10-25.11	Виконано
6	Перевірка виконаних робіт у керівника роботи,		
	консультантів, виправлення помилок, чистове	25.11-10.12	Виконано
	виконання розділів магістерської роботи.		
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та	10.12-31.12	Виконано
	підготовка до захисту.		

Студентка _____ Онищенко Р.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Жалкін Д.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ 7

1 Характеристики вантажних тепловозів 2ТЕ116 та 2ТЕ10М 10

2 Методи виконання тягових розрахунків і оптимальних тягових розрахунків 12

2.1 Аналіз методів виконання тягових розрахунків 12

2.2 Чисельний метод виконання тягових розрахунків 14

2.3 Аналіз методів виконання оптимальних тягових розрахунків 18

2.4 Застосування методу динамічного програмування для вирішення задачі оптимального визначення режиму руху поїзда у тягових розрахунках 21

2.5 Математичне моделювання процесу руху поїзда 24

3 Нейромережевий метод виконання тягових розрахунків для завдань оптимізації руху вантажних тепловозів 27

3.1 Рух за умов невизначеності 29

3.2 Виконання тягових розрахунків з нейромережевим регулятором режиму руху 30

3.3 Програмна реалізація нейромережевого методу для енерго-заощаджуючого режиму роботи 44

4 Визначення оптимальної траєкторії руху вантажного тепловоза 48

4.1 Вимоги до інформаційно керуючої та контролюючої системи тепловоза 61

5 Економічний ефект від руху за оптимальними траєкторіями 64
5.1 Коротка характеристика технічного рішення 64
5.2 Капітальні витрати при впровадженні 65
5.3 Розрахунок приросту економічного ефекту від інноваційного заходу 67
5.4 Визначення складових витрат на експлуатацію 70
5.5 Визначення економічного ефекту від оптимальних траєкторій руху вантажного тепловоза 77
Висновки 79
Список використаних джерел 80
Додаток А - Публікація за темою роботи 82
Додаток Б - Акт перевірки магістерської кваліфікаційної роботи 83

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 11 слайдів презентації, 83 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 16 рисунків, 12 таблиць, 14 літературних джерел.

Ключові слова: ТЯГОВІ РОЗРАХУНКИ; ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ; КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ; УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ; ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ.

Об’єкт дослідження – процеси керування тяговим рухомим складом.

Метою роботи є зменшення витрат енергоресурсів за рахунок визначення енергозаощаджуючих режимів керування локомотивом.

Методика вибору енергозаощаджуючої траєкторії руху поїзда та управління потужністю електровозів та тепловозів із електричною передачею передбачає розрахунок багатоваріантних траєкторій із варіативними вихідними даними параметрів складу та поїзної ситуації.

На підставі багатоваріантних розрахунків удосконалено алгоритм визначення енергозаощаджуючих траєкторій руху поїзда, побудовано багатопараметричну функцію управління потужністю локомотива, яка дозволяє зменшити витрати енергоресурсів від 11 до 13 %, залежно від маси поїзда та поїзної ситуації.

ABSTRACT

This qualification work includes 11 presentation slides, 83 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 16 figures, 12 tables, and 14 literature references.

Keywords: TRACTION CALCULATIONS; ENERGY EFFICIENCY OF TRAIN OPERATION; KINETIC ENERGY; POWER MANAGEMENT; PARAMETRIC OPTIMIZATION.

The object of research is the processes of controlling traction rolling stock.

The purpose of the work is to reduce energy consumption by determining energy-saving modes of locomotive control.

The method of selecting an energy-saving train trajectory and controlling the power of electric locomotives and diesel locomotives with electric transmission involves calculating multivariate trajectories with variable initial data on the parameters of the train and the train situation.

Based on multivariate calculations, the algorithm for determining energy-saving train trajectories has been improved, and a multiparameter locomotive power management function has been constructed, which allows reducing energy consumption by 11 to 13%, depending on the train mass and train situation.

Вступ

Зниження енерговитрат на тягу поїздів може бути досягнуто кількома шляхами: розвиток методів енергооптимального нормування у випадках ведення поїзда машиністом, розробка та впровадження систем енергооптимального автоматичного ведення поїзда, підвищення енергоефективності тягового рухомого складу (ТРС), підвищення енергоефективності джерел електропостачання тощо.

Перші два напрями не вимагають суттєвих капіталовкладень та можуть бути реалізовані за рахунок застосування прикладної частини теорії тяги потягів – тягових розрахунків. Однак методи виконання тягових розрахунків до останнього часу не дозволяли одночасно підвищити точність, знизити час розрахунку і скоротити потребу в обчислювальних ресурсах, що особливо важливо для автоматичного ведення поїзда або для виконання багатьох паралельних тягових розрахунків. Пропонований комплексний підхід дозволяє розширити можливості застосування тягових розрахунків у системах, що потребують вирішення оптимізаційних завдань за умов, що постійно змінюються.

Таким чином завдання зниження енерговитрат на тягу поїздів є актуальним і може бути вирішене за рахунок удосконалення методології тягових розрахунків щодо підвищення точності при одночасному скороченні тимчасових витрат на розрахунок, що важливо для застосування в перспективних безпілотних системах керування руху поїзда.

Основи тягових розрахунків у теорії тяги поїздів опрацьовані досить повно, проте з розвитком математичного апарату та появою нових технологій з'явилася можливість подальшого розвитку методів, які дозволяють використовувати тягові розрахунки у новій якості, у тому числі для систем керування поїздом із безперервним машинним навчанням.

Метою роботи є вдосконалення методу тягового розрахунку для отримання енергооптимальних траєкторій руху поїзда.

Об’єкт дослідження – процеси керування тяговим рухомим складом.

Предмет дослідження – інформаційне та математичне забезпечення оптимізації процесів керування та контролю вантажними тепловозами

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів тягових розрахунків, сформулювати оптимальне завдання та визначити метод її вирішення;

- підібрати сучасний математичний апарат, що найбільше застосовується для вирішення сформульованої оптимальної задачі;

- розробити алгоритм для виконання оптимальних тягових розрахунків;

- проаналізувати результати тягових розрахунків у частині застосування для практичних завдань;

- розробити новий метод виконання оптимальних тягових розрахунків з підвищеною точністю, з меншими витратами часу та обчислювальних ресурсів.

Практична значимість роботи обґрунтовується наступними результатами та висновками:

Отримані енергозаощаджуючі функції управління тягою локомотива для відповідних рівномірних швидкостей, які залежать від маси поїзда та ухилу.

На відміну від існуючих розробок раціонального ведення поїздів, дана функція потребує значно менше машинного часу при високій точності розрахунків. Це дає можливість її впровадження в бортову систему керування локомотивом та економії енергоресурсів.

Достовірність результатів підтверджується коректністю вихідних математичних положень та обґрунтованістю прийнятих припущень, а також порівняльним аналізом запропонованих чисельних реалізацій тягових розрахунків із результатами, отриманими в реальних умовах експлуатації.

Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на засіданнях кафедри та наукових конференціях.

В ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі текст, алгоритми, методики проведення аналізу, досліджень, визначення певних характеристик, параметрів та вихідних даних, розрахунків тощо, які міститься у джерелах [1-8], наведених у списку використаних джерел, а також інформація, отримана в результаті консультування з керівником роботи, науковими, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка є неопублікованими авторськими напрацюваннями (найсучасніша інформація дослідницького, інноваційного характеру), дозволеними для використання автору цієї роботи виключно при виконанні тільки цієї дипломної роботи. За результатами роботи автора запропоновано визначення енергооптимальних траєкторій руху вантажних тепловозів.

Список використаних джерел

1. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту тепловозів 2ТЕ116 / наказ ЦТ-0043. – К: Укрзалізниця, 2002. – 323 с.

2. Про вдосконалення системи технічного обслуговування, експлуатації, поточного та капітального ремонтів тягового рухомого складу. Наказ № Ц-85/25 Ком.т. від 01.05.2023 р. – К. Укрзалізниця, 2019. –15 с.

3. Бабанін О.Б., Жалкін Д.С., Жалкін С.Г., Пузир В.Г. Основи експлуатації локомотивів: Навч. посібник / О. Б. Бабанін, Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін та ін. − Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 266 с.

4. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.5. Екологізація ДВЗ /А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. - Харків: НТУ "ХГП", 2004. -360 с.

5. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі /О.В. Бажинов, О.П. Смірнов, С.А. Сєріков, А.В., Гнатов, А.В. Колєсніков. - Харків: Крок, 2008. - 327 с.

6. Боднар, Б.Є. Определение энергосберегающих режимов разгона поездов / Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, А.М. Афанасов, Д.М. Кислий // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 5. – С. 40–52.

7. Д.С. Жалкін, С.В. Рогатюк Підвищення тягових властивостей дизель-поїзда при розгоні / Збірник наук. праць УкрДУЗТ Харків, вип. 165, 2016. – С. 260-270.

8. Яковенко В.Г., Мирошниченко Ю.В., Моцна І.В., Жердєв М.Д. Методичні вказівки до розрахунку економічної частини дипломного проекту. для студентів спеціальності «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» усіх форм навчання. –Харків.: УкрДУЗТ, 2020. - 46 с.

9. Leska, M. Comparative calculation of the fuel-optimal operating strategy for diesel hybrid railway vehicles: / M. Leska, H. Aschemann, M. Melzer, M. Meinert // Appl. Math. Comput. Sci. 2017. -Vol. 27. No. 2. P. 323-336.

10. MTU HYBRID POWERPACK. MTU. URL: https://www.mtusolutions.com/cn/en/applications/rail/railcar-powerpacks/hybrid-powerpack.html (дата звернення: 23.11.2024).

11. Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM). Toshiba. URL: https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/railway/rolling-stock/pmsm.html (дата звернення: 23.11.2024).

12. Hybrid Locomotive Equipped with Energy-Saving Electrical Equipment for European Market. Toshiba URL:https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infrasolution/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/Toshiba%20Review%20(Hybrid%20Locomotive).pdf (дата звернення: 09.11.2024).

13. Hou-Tsan Lee, Li-Chen Fu, Su-Hau Hsu Adaptive SPR speed/position control of induction motor / IFAC Proceedings Volumes, Volume 35, Issue 1, 2002, P. 513-518.