

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ВАГОНА МЕТРОПОЛІТЕНУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

КРМ.273.14.07.26.01 ПЗ

Розробив: студент групи 214-ЕЕ-Д24
спеціальності 273 «Залізничний транс-
порт»

освітньої програми «Електровози та елек-
тропоїзди»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

_____ Ігор МИРОНЧУК
(підпис)

Керівник: д.т.н., доцент,
Олександр ПЛАХТІЙ

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри
Надія КАРПЕНКО

Харків – 2026 р.

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота містить 95 аркушів пояснювальної записки формату А4, у тому числі 13 рисунків, 4 таблиць, 10 джерел літератури та 1 додаток.

Ключові слова: колекторні двигуни, тиристорне керування двигуном, модернізація тягового приводу, економічний ефект

Об'єктом дослідження є процеси перетворення системи керування вагонів ЕЖ-3 із реостатно-контакторною системою керування у системи із тиристорно-імпульсним керуванням

Метою роботи модернізувати систему керування колекторних двигунів на більш економічну, розробити та прорахувати план ремонту.

У роботі виконано порівняльний аналіз двох видів систем керування, визначено витрати електроенергії

Результати показали, що а також техніко-економічні наслідки впровадження на вагонах Харківського метрополітену системи тягової електропередачі з імпульсним регулюванням напруги тягових електродвигунів (ТІСУ). Впровадження ТІСУ здійснюється у рамках виконуваного на Харківському метрополітені капітально-відновлювального ремонту (КР-2) з модернізацією вагонів 81-710 (Еж-3) у вагони 81-718.

ABSTRACT

This qualification work contains 95 sheets of explanatory note in A4 format, including 13 figures, 4 tables, 10 sources of literature and 1 appendix.

Keywords: commutator motors, thyristor motor control, modernization of the traction drive, economic effect

The object of the study is the processes of converting the control system of EZh-3 wagons with a rheostat-contactor control system into a system with thyristor-pulse control

The purpose of the work is to modernize the control system of commutator motors to a more economical one, to develop and calculate a repair plan.

The work performed a comparative analysis of two types of control systems, determined electricity consumption

The results showed that and also the technical and economic consequences of introducing a traction power transmission system with pulse voltage regulation of traction electric motors (TISU) on the wagons of the Kharkiv Metro. The implementation of TISU is being carried out as part of the capital renovation (KR-2) carried out on the Kharkiv Metro with the modernization of cars 81-710 (Ezh-3) into cars 81-718. The results demonstrate that three-level voltage inverters exhibit higher efficiency and

lower harmonic distortion than two-level designs, confirming their suitability for traction applications in electric rolling stock.

| | | |
|--|--|----|
| Зміст | | |
| Вступ | | 7 |
| 1 Основні відомості про тягу та засоби управління нею | | 9 |
| 1.1 Пускові діаграми | | 9 |
| 1.2 Принцип імпульсного регулювання напруги живлення тягових електродвигунів (ТЕД) | | 13 |
| 2 Витрати електроенергії на тягу поїздів метрополітену | | 30 |
| 2.1 Складові загальних витрат електроенергії | | 30 |
| 2.2 Ефективність рекуперативного гальмування | | 32 |
| 2.3 Витрати електроенергії на тягу при тиристорно-імпульсному регулюванні | | 33 |
| 3 Тиристорно-імпульсна система регулювання ТЕД | | 40 |
| 3.1 Силове коло вагона з імпульсним регулюванням напруги | | 40 |
| 3.2 Основні характеристики ТПП та вихідні дані для його розрахунку | | 40 |
| 3.3 Розрахунок вхідного фільтра | | 42 |
| 3.4 Розрахунок згладжуючого реактора | | 49 |
| 3.5 Вибір параметрів тягових електродвигунів | | 55 |
| 4 Вимоги до проектування та принципи розташування тягового обладнання на вагоні | | 63 |
| 5 Організація ремонту вагонів з імпульсним регулюванням | | 69 |
| 6 Техніко-економічний розрахунок нового вузла вагона метрополітену | | 75 |
| 6.1 Вихідні положення розрахунку економічного ефекту | | 75 |
| 6.2 Розрахунок собівартості комплекту | | 77 |
| 6.3 Розрахунки основних техніко-економічних показників | | 79 |
| Висновки | | 86 |
| Перелік використаних джерел | | 87 |
| Додаток А – Ілюстраційний матеріал до кваліфікаційної роботи | | 88 |

| | | | | | | | | |
|-----------|---------------|----------|---|--|------------------------|--|--------|------------|
| | | | | | КРМ.273.14.07.26.01 ПЗ | | | |
| | | № докум. | І | | | | | |
| Розробив | Мирончук І.О. | | | <i>Модернізація системи керування тягового електроприводу вагона метрополітена</i> | Літ- | | ..Арк. | Аркушів 96 |
| Перевірив | Плахтій О.А. | | | | | | | |
| Рецензент | Карпенко Н.П. | | | | | | | |
| Н. контр. | Плахтій О.А. | | | | | | | |
| Затвердив | Бабаєв М.М. | | | | | | | |
| | | | | | УкрДУЗТ 4 | | | |

ВСТУП

Метрополітен є основним, найбільш перспективним міським електротранспортом. Електрорухомий склад (ЕРС) метрополітенів експлуатується на лініях з короткими перегонами між станціями при порівняно високих експлуатаційній та технічній швидкостях. Досягти значних швидкостей при обмежених розмірах перегонів можливо тільки за умови, що ЕРС має високі динамічні показники та може розвивати відповідні прискорення при рушанні та уповільнення при гальмуванні. Максимальні значення цих показників обмежені граничними для заданих умов руху силами тяги та гальмування, які, в свою чергу, лімітуються в зоні низьких та середніх швидкостей умовами зчеплення коліс з рейками, а в зоні високих швидкостей – умовами, необхідними для надійної роботи тягових машин.

Як тягові машини на вагонах ранніх випусків використовувались двигуни типу ДК-116 та їх модифікації. На кожному вагоні складу їх встановлювалося по 4, сумарною потужністю на вагон – 272 кВт.

На вагонах серії 81-717, 81-714 використовуються двигуни типу ДК-117 та їх модифікації. На кожний вагон їх також встановлюють по 4, сумарною потужністю на вагон – 440 кВт.

У сучасних серіях вагонів метрополітенів знаходять широке використання системи тиристорно-імпульсного регулювання частоти обертання тягових двигунів. Рухомий склад з тиристорно-імпульсним регулюванням тягових двигунів мається на Лондонському метрополітені. З 1986 року вагони з такими системами з'явилися на Римському, Міланському, Вашингтонському метрополітенах. Значна кількість таких систем випускається японськими фірмами “Міцубісі”, “Хітачі” для своїх метрополітенів і на експорт. Великий досвід в будівництві вагонів з описаним приводом набула північноамериканська фірма “Бадд”, яка поставляє свою продукцію в основному на американський ринок.

В останні роки на рухомому складі переважно країн Західної Європи все більш розповсюджуються асинхронні тягові двигуни з тиристорно-імпульсною системою регулювання. Але такі системи потребують спеціальних тягових двигунів і більш складної апаратури управління.

Однак, незважаючи на певні успіхи в розробці цих вагонів, їх широкого впровадження до нашого часу не відбулося. Причини цього полягають у такому. При розробці вагонів метрополітену з імпульсним регулюванням був відсутній комплексний підхід у рішенні поставленої задачі. Фактично здійснювалася розробка тиристорних імпульсних регуляторів, а не електрообладнання вагона метрополітену в цілому. Це призводило до того, що, з одного боку, вагони оснащувалися найсучаснішим напівпровідниковим обладнанням, а з другого – на них використовувались традиційні релейно-контакторні системи управління режимами руху з великою кількістю силових контакторів і тягові машини, призначені для роботи на вагонах з реостатним пуском.

Штучне об'єднання на одному вагоні сучасного та морально застарілого обладнання на базі традиційного підходу до формування схеми силових кіл вагона принципово не могли привести до підвищення надійності роботи вагона та значному покращенню його динаміки.

В наш час у Харківському метрополітені в електродепо “Немишлянське” в дослідній експлуатації знаходиться 5 поїздів з тяговими тиристорно-імпульсними перетворювачами (ТТП). Заплановано поставити декілька поїздів в Ташкентський метрополітен. Митищинський машинобудівний завод на базі даних, отриманих з експлуатації дослідної партії, здійснює удосконалення недостатньо надійних вузлів і агрегатів і планує їх серійний випуск.

Останнім часом, враховуючи світові тенденції розвитку електричного рухомого складу, розглядається можливість модернізації парку вагонів Харківського метрополітену в плані обладнання їх сучасними системами тягової електропередачі (ТІСУ).

Метою даного дипломного проекту є дослідження технічних питань, а також техніко-економічних наслідків впровадження на вагонах Харківського метрополітену системи тягової електропередачі з імпульсним регулюванням напруги тягових електродвигунів.

Перелік використаних джерел

1. Хряпенков, Г.А. Електричні апарати та ланцюги пасажирських вагонів: навч. посібник/Г.А. Хряпенків. - М.: Маршрут, 2003. - 25 с.
2. Зорохович, А.Є. Електроустаткування вагонів: підручник/А.Є. Зорохович; за ред. А.Є. Зороховича. - М.: Транспорт, 1982. - 367 с.
3. Головка, В.Ф. Конспект лекцій з дисципліні “Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання вагонів”: конспект лекцій/В.Ф. Головка. - Харків: УкрДАЗТ, 2002. - Ч.1. - 68 с.
4. Зорохович, А.Є. Електро- та радіообладнання пасажирських вагонів: підручник / А.Є. Зорохович, О.З. Лібман. - М.: Транспорт, 1985. - 343 с.
5. Головка, В.Ф. Сучасні уніфіковані системи електрозабезпечення пасажирських вагонів: навч. посібник/В.Ф. Головка. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - 86 с.
6. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. - Введ. 1995. К.: Держстандарт України, 1994. - 24 с.
7. Головка, В.Ф. Журнал лабораторних робіт з дисципліні «Електричне обладнання вагонів»/В.Ф. Головка, В.В. Бондаренко, В.Г. Маслієв. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Ч.1. -42 с.
8. Головка, В.Ф. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліні “Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання вагонів” : метод. В.Ф. Головка. - Харків: ХарДАЗТ, 1999. Ч.1. - 35 с.
9. Головка, В.Ф. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліні “Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання вагонів” : метод. В.Ф. Головка. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Ч.2. - 37 с.
10. Головка, В.Ф. Конспект лекцій з дисципліні “Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання вагонів” : 263консп. лекцій/В.Ф. Головка. - Харків: УкрДАЗТ, 2002. - Ч.2. -34 с.
11. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу: Навч. посібник / Ю. П. Гончаров, М. В. Панасенко та ін./ За ред. Ю. П. Гончарова – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. - 192с.

12. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії : навч. посібник / О. О. Шавьолкін; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.

13. Сенько В. І., Панасенко М. В., Юрченко М. М. та ін.. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник у 4-х томах / За ред. В. І. Сенька. Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – К.: Обереги, 2000. – 300 с.

14. Семененко О.І., Семененко Ю.О. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни Тягові статичні перетворювачі на тему “Модернізація тягового електроприводу ЕРС з асинхронними двигунами”. Харків: УкрДУЗТ, 2017 – 24 с.

15. Гончаров Ю.П., Будьонний О.В., Морозов В.Т., Панасенко М.В., Ромашко В.Я., Руденко В.С. Перетворювальна техніка: Підручник/ За ред. В.С. Руденка.– Харків: Фоліо, 2000. Ч.2. – 360 с.

16. Калабухін Ю.Є., Шраменко О.В. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності “Електричний транспорт” всіх форм навчання «Визначення економічної ефективності заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті». Харків: УкрДУЗТ, 2007 – 20 с.

17. Русаловський А. В. Правові та організаційні питання охорони праці: навч. посіб. / А. В. Русаловський – 4-те вид., допов. і переробл. – К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.