

ФОНД ДЕРЖАВНОГО МАЙНА УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ВАГОНБУДУВАННЯ
(ДП «УкрНДІВ»)

А.О. Сулим

***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАТИВНОГО
ГАЛЬМУВАННЯ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ
ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ БОРТОВИХ ЄМНІСНИХ
НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ***

Монографія

Кременчук 2023 р.

*Рекомендовано до друку науково-технічною радою
Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
(протокол № 2 від 28.12.2022 р.)*

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. Фомін О.В.

д-р техн. наук, проф. Устенко О.В.

д-р техн. наук, проф. Мартинов І.Е.

Сулим А.О.

Підвищення ефективності використання електроенергії рекуперативного гальмування поїздів метрополітену шляхом впровадження бортових ємнісних накопичувачів енергії : монографія / А.О. Сулим. Кременчук: ДП «УкрНДІВ», 2023. 105 с.

ISBN 978-966-97716-8-1

Виконано оцінку заощаджень енергоресурсів на тяговому залізничному транспорті від впровадження накопичувачів енергії. Встановлено, що перспективним видом транспорту для впровадження накопичувачів енергії є рухомий склад метрополітену в силу особливостей його експлуатації. Наведено основні тенденції розвитку рухомого складу метрополітену в Україні. Окреслено маловивчені та актуальні проблемні питання за умов розміщення бортових накопичувачів енергії на рухомому складі метрополітену з системами рекуперативного гальмування. Обґрунтовано доцільність застосування бортових накопичувачів енергії на рухомому складі метрополітену. Досліджено умови протікання енергетичних процесів під час штатних умов експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуперативного гальмування. Виконано оцінку резервів заощаджень енергоресурсів у вітчизняному метрополітені за рахунок ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування. Визначено найбільш вагомий фактор впливу на кількість спожитої та рекуперованої електроенергії поїздом метрополітену. Запропоновано підходи з визначення параметрів бортових ємнісних накопичувачів енергії для рухомого складу метрополітену на підставі отриманих даних експериментальних досліджень та розробленого програмного забезпечення. Визначено параметри бортового ємнісного накопичувача енергії для заданих умов експлуатації рухомого складу метрополітену. Запропоновано технічне рішення для ефективного накопичення та використання електроенергії рекуперативного гальмування рухомого складу метрополітену. Розвинуто теорію створення енергоощадного рухомого складу метрополітену з системами рекуперативного гальмування, яка заснована на впровадженні бортового ємнісного накопичувача енергії як додаткового джерела живлення.

Монографія призначена для інженерно-технічних працівників, пов'язаних з теоретичними та експериментальними дослідженнями енергетичного тягового і гальмівного обладнання рухомого складу метрополітену, а також може бути корисною для студентів і аспірантів відповідних спеціальностей.

УДК 625.42:621.333.4

© Сулим А.О.

© ДП «УкрНДІВ», 2023

ISBN 978-966-97716-8-1

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕДМОВА	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ. ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В МЕТРОПОЛІТЕНІ	5
1.1. Огляд наукової літератури щодо застосування накопичувачів енергії на рейковому тяговому залізничному транспорті та перспективи їх впровадження в метрополітені	5
1.2. Сучасний стан та основні тенденції розвитку рухомого складу метрополітену в Україні	9
1.3. Обґрунтування раціонального місця розташування накопичувачів енергії в системі енергозабезпечення метрополітену	13
1.4. Аналіз технічних рішень щодо керування енергообмінними процесами між бортовим накопичувачем енергії та тяговим електроприводом	16
1.5. Постановка задач досліджень	19
Висновки за розділом 1	20
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ШТАТНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ З СИСТЕМАМИ РЕКУПЕРАЦІЇ	21
2.1. Розробка експериментального випробувального комплексу для дослідження енергообмінних процесів	21
2.2. Оцінка резервів заощаджень енергоресурсів у вітчизняному метрополітені за рахунок ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування	23
2.3. Визначення найбільш вагомого фактору впливу на кількість спожитої та рекуперованої електроенергії	29
Висновки за розділом 2	32
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЄМНІСНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1. Обґрунтування вибору ємнісного накопичувача енергії для рухомого складу метрополітену з системами рекуперації	33
3.2. Розробка підходів до визначення параметрів бортового ємнісного накопичувача енергії з використанням методів теорії імовірності	37
3.3. Визначення раціональних параметрів бортового ємнісного накопичувача енергії за критерієм мінімального терміну окупності системи накопичення	42
3.4. Визначення раціональних параметрів бортового ємнісного накопичувача енергії з урахуванням маси та вартості системи накопичення	47
3.5. Аналіз результатів досліджень з визначення параметрів бортового ємнісного накопичувача енергії за розробленими підходами	53
Висновки за розділом 3	54
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЄМНІСНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	55
4.1. Програмне забезпечення для моделювання руху складу метрополітену з системами рекуперації під час заданих режимів його ведення	55
4.2. Процедура визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії для рухомого складу метрополітену з використанням програмного забезпечення «Motion Simulation»	62
4.3. Розробка програмного забезпечення для визначення раціональних режимів ведення рухомого складу метрополітену на перегоні	72
4.4. Процедура визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії з використанням багатокритеріального методу оцінки та програмного забезпечення «Rational Trajectory»	80
4.5. Аналіз результатів досліджень з визначення раціональних параметрів ємнісного накопичувача енергії за розробленими підходами з використанням програмного забезпечення	87
Висновки за розділом 4	88
РОЗДІЛ 5. СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА БАЗІ КОНДЕНСАТОРНИХ МОДУЛІВ	90
Висновки за розділом 5	92
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	94

ПЕРЕДМОВА

В сучасних умовах господарювання та конкуренції з боку інших видів транспорту перед вітчизняними залізничними підприємствами гостро стоїть проблема постійного підвищення ефективності використання тягового рухомого складу. Технічний стан існуючого парку тягового рухомого складу залізничного транспорту залишає бажати кращого, оскільки його основу складають морально та фізично застарілі зразки, що робить очевидною необхідність його оновлення моделями нового покоління або проведення глибокої модернізації існуючих.

На сьогоднішній день значну перспективу подальшого розвитку має насамперед рухомий склад метрополітену. Основними причинами цього є постійне розширення мереж та інфраструктури метрополітенів України і, як наслідок, створення передумов зростання попиту на закупку рухомого складу нового покоління. Крім того, в метрополітенах України станом на 2016 рік близько 35 % одиниць рухомого складу вичерпали свій ресурс і потребують проведення модернізації.

Відповідно до сучасних вимог, однією з ключових проблем під час оновлення рухомого складу є зменшення енергетичних витрат на тягу за рахунок впровадження на ньому енергозберігаючих технологій та енергоефективних систем. Тому подальший розвиток рухомого складу метрополітену, особливо в умовах постійного поетапного підвищення тарифів на електроенергію, неможливий без пошуку нових ефективних технічних рішень, які дозволять істотно знизити втрати електроенергії під час його експлуатації.

В останні роки, з метою скорочення споживання електроенергії на тягу, метрополітенами України поступово вводиться в експлуатацію новостворений та модернізований рухомий склад. Головними відмінностями даного рухомого складу є впровадження енергозберігаючого обладнання, насамперед, системи рекуперації, мікропроцесорної системи управління, ефективного асинхронного тягового приводу.

Аналіз численних досліджень свідчить, що існує значний потенціал економії енергоресурсів та додаткового енергозбереження шляхом ефективного використання електроенергії рекуперації. За існуючої системи тягового енергозабезпечення метрополітену використання електроенергії рекуперації має імовірнісний характер та не перевищує 30 %. Отже, в даний час існує проблема реалізації отриманої надлишкової електроенергії та відсутня можливість її накопичення у разі відсутності споживачів в зоні рекуперації. Одним з основних шляхів розв'язання зазначеної проблеми є впровадження бортових ємнісних накопичувачів енергії.

Тому, розвиток наукових основ створення рухомого складу метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії є важливою та актуальною науково-прикладною проблемою, результати розв'язання якої мають важливе значення як для вітчизняних, так і метрополітенів інших країн.