

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА АВТОНОМНОМУ РУХОМОМУ
СКЛАДІ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи
МКРМЕ.550.14.01.ГЧ

Виконав: студент групи 221-ЛЛГ-Д23
спеціальності І7 «Залізничний транспорт»
Освітня програма «Локомотиви та
локомотивне господарство»

_____ Никончук Н.А.

Керівник: професор, д-р техн. наук
_____ Жалкін Д.С

Рецензент:
професор, д-т техн. наук

Олександр КРАШЕНІНІН

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність J7 «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 Никончуку Назарію Анатолійовичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з застосування гібридних енергетичних установок на автономному рухомому складі»; керівник роботи Жалкін Денис Сергійович, д.т.н., професор; затверджена розпорядженням по механічному факультету від «17» березня 2025 року № 17.
2. Строк подання студентом роботи «01» червня 2025 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо; Технічна документація рейкового автобуса 620М; Правила ремонту дизель-поїздів; Інструкція з технічних обслуговувань рейкового автобуса; Нормативні накази АТ «Укрзалізниця»; Патенти по гібридним силовим установкам ТРЗ.
4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан тягового рухомого складу для приміських, регіональних та міжрегіональних перевезень. 2. Гібридні енергетичні установки рейкових автобусів зі гідропередачою потужності та гідроакумуляторами енергії. 3. Класифікація гібридних силових установок. 4. Методика обирання ємності накопичувачів енергії. 5. Діагностування та ремонт гібридних ЕУ. 6 Економічна частина. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу 1. Ціль та задачі роботи. 2. Основні параметри автономного рухомого складу (АРС). 3. Застосування гібридних енергетичних установок на АРС. 5. Схеми гібридних установок АРС. 6. Гібридні силові блоки рейкових автобусів. 7. Вибір параметрів накопичувача енергій гібридної силової установки. 8. Розміщення установки на рейковому автобусі. 10. Переваги гібридної установки. 11 Діагностування та технічне обслуговування ГЕУ рейкового автобуса. 12. Висновки.

6. Консультанти окремих розділів .

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на магістерську роботу. Формування змісту та етапів роботи.	15.12-25.12	Виконано
2	Збирання та обробка статистичної інформації.	25.12-25.01	Виконано
3	Виконання роботи по розділам магістерської роботи. Аналіз одержаних даних, їх обробка.	25.01-25.02	Виконано
4	Перевірка виконаних завдань у керівника магістерської роботи, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів.	25.02-25.03	Виконано
5	Робота над оформленням графічної частини	25.03-25.04	Виконано
6	Перевірка виконаних робіт у керівника роботи, консультантів, виправлення помилок, чистове виконання розділів магістерської роботи.	25.04-10.05	Виконано
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту.	10.05-31.05	Виконано

Студент

(підпис)

Никончук Н.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)



Жалкін Д.С.

(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ	7
1 Сучасний стан тягового рухомого складу для приміських, регіональних та міжрегіональних перевезень	10
1.1 Приміський залізничний пасажирський транспорт України	14
1.2. Історія приміського дизельного сполучення України	22
1.3 Історія автомотрис, рейкових автобусів та іншого автономного рухомого складу на теренах Української залізниці	26
1.4 Історія, розвиток та сучасний стан приміського дизельного сполучення в країнах світу	29
2 Гібридні установки: застосування, особливості, переваги та недоліки	33
2.1 Типи та процес роботи гібридних установок на автомобільному транспорті	33
2.2 Гібридний локомотив компанії Stadler для Великобританії	41
2.3 Локомотив сімейства Vectron із комбінованим приводом в Німеччині	45
3. Обґрунтування ємності накопичувача енергії та схеми ГЕУ	52
3.1 Типи та пріоритет у виборі накопичувача енергії	59
3.2 Методи визначення ємності накопичувачів енергії ГЕУ	63
4 Визначення потрібної потужності та ємності системи накопичування енергії	87
4.1 Визначення необхідної ємності накопичувача енергії	87
4.2 Визначення потрібної потужності системи накопичування енергії	93

					МКРМЕ.550.14.04.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Никончук			Розроблення пропозицій з застосування гібридних енергетичних установок на автономному рухомому складі	Літ.	Арк.	Листів
Перевір.		Жалкін					4	83
Реценз.		Крашенінін				УкрДУЗТ, 221-ЛЛГ-Д23		
Н. Контр.		Коваленко						
Затверд.		Пузир						

5 Економічний ефект від модернізації рейкового автобуса шляхом застосування гібридної силової установки	98
5.1 Коротка характеристика технічного рішення	98
5.2 Капітальні витрати при впровадженні гібридної енергетичної установки	99
5.3 Розрахунок приросту економічного ефекту від інноваційного заходу	102
5.4 Визначення складових витрат на експлуатацію	104
5.5 Визначення економічного ефекту від модернізації рейкового автобуса	111
Висновки	112
Список використаних джерел	113
Додаток А - Акт перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	116

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 11 слайдів презентації, 116 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 33 рисунків, 16 таблиць, 36 літературних джерел.

Ключові слова: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, ГІБРИДНИЙ ТЯГОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД, ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА.

Мета роботи. Підвищення енергетичної ефективності тягового рухомого складу залізних доріг шляхом розробки нових науково-обґрунтованих технічних рішень щодо застосування накопичувачів енергії у складі силових енергетичних установок рухомого складу.

Об'єкт дослідження – гібридні енергетичні установки автономного рухомого складу.

Предмет дослідження – процесів обирання типу та визначення ємності накопичувачів енергії гібридних енергетичних установок.

Робота присвячена питанню застосування накопичувача енергії для покращення технічних, екологічних та економічних показників роботи силової установки автономного рухомого складу.

Розроблені основи теорії управління енергією та потужністю гібридної силової енергоустановки закладають методологічні основи побудови багаторівневих систем управління перспективним енергоефективним рухомих тяговим складом.

ABSTRACT

This qualification work includes 11 presentation slides, 116 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 33 figures, 16 tables, and 36 literature references.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, ENERGY STORAGE, HYBRID TRACTION ROLLING STOCK, HYBRID POWER PLANT.

Purpose of the work. Increasing the energy efficiency of railway traction rolling stock by developing new scientifically based technical solutions for the use of energy storage as part of the power plant of rolling stock.

The object of the study is hybrid power plants of autonomous rolling stock.

The subject of the study is the processes of selecting the type and determining the capacity of energy storage of hybrid power plants.

The work is devoted to the issue of using an energy storage to improve the technical, environmental and economic performance of the power plant of autonomous rolling stock.

The developed foundations of the theory of energy and power management of a hybrid power plant lay the methodological foundations for building multi-level control systems for promising energy-efficient rolling stock.

Вступ

В умовах сучасного розвитку транспортної галузі України технічний стан тягового рухомого складу АТ «Укрзалізниця» характеризується як такий, що перебуває на критичному рівні. Згідно з наявними статистичними даними, понад 90 % одиниць парку мають наднормативний ступінь зношеності та потребують заміни або капітального оновлення. Так, середній рівень зносу вантажних електровозів становить приблизно 91 %, тепловозів — 100 %, вантажних вагонів — 81 %. У сфері пасажирських перевезень ситуація є подібною: знос електровозів досягає 91 %, тепловозів — 95 %, пасажирських вагонів — 86 %. Ще критичнішою є ситуація у сегменті приміських та регіональних перевезень, де знос моторвагонного рухомого складу сягає 95 %, у тому числі 92 % — електропоїздів та 99 % — дизель-поїздів. Крім того, технічна інфраструктура залізничного транспорту, яка охоплює колійне господарство, системи електропостачання, зв'язку тощо, зношена на рівні 89 %. Такий стан об'єктивно ускладнює забезпечення безперебійного та безпечного функціонування залізничного транспорту, знижує якість перевізного процесу, створює додаткові ризики для користувачів транспортних послуг і потребує системного оновлення технічної бази компанії [1].

Незважаючи на положення Закону України «Про залізничний транспорт» (постанова Верховної Ради України від 04.07.1996 № 274/96-ВР), фінансування з державного бюджету, передбачене для розвитку магістральної інфраструктури та оновлення рухомого складу пасажирських перевезень, упродовж тривалого часу фактично не здійснюється. Водночас місцеві бюджети також практично не забезпечують фінансову підтримку закупівель електро- та дизель-поїздів, призначених для забезпечення потреб приміських перевезень. Значні збитки, що виникають унаслідок здійснення соціально важливих приміських маршрутів, залишаються невідшкодованими, що негативно впливає на стабільність функціонування цього сегменту транспортної системи. Подібна ситуація є типовою для більшості регіонів України [2]. Системне недофінансування з боку

органів місцевого самоврядування створює загрозу переривання або повного припинення руху приміських поїздів як у межах великих обласних центрів, так і між меншими населеними пунктами — районними центрами та селами. Дана проблема періодично порушується у засобах масової інформації, що свідчить про її актуальність та соціальну значущість.

Робота присвячена питанню застосування накопичувача енергії для покращення технічних, екологічних та економічних показників роботи силової установки автономного рухомого складу.

Мета роботи. Підвищення енергетичної ефективності тягового рухомого складу залізних доріг шляхом розробки нових науково-обґрунтованих технічних рішень щодо застосування накопичувачів енергії у складі силових енергетичних установок рухомого складу.

Об'єкт дослідження – гібридні енергетичні установки автономного рухомого складу.

Предмет дослідження – процесів обирання типу та визначення ємності накопичувачів енергії гібридних енергетичних установок.

Для виконання поставленого завдання у роботі:

- розглянуто досвід використання накопичувачів енергії у силових ланцюгах локомотивів, проведено аналіз характеристик існуючих накопичувачів енергії та їх придатності для використання на тяговому рухомий складі;
- розглянуто методики визначення оптимальної ємності накопичувачів енергії;
- розроблені пропозиції з використання гібридних енергетичних установок на автономному рухомому складі з різним типом передачі потужності.

Методи. Ціль досягається методом комплексного підходу до проблеми енергетичної ефективності тягового рухомого складу, орієнтованого на практичну значущість та економічну обґрунтованість результатів.

Практична значимість: Розроблено систему показників, що характеризують технічний рівень, енергетичну ефективність і конкурентоспроможність гібридного тягового рухомого складу, і методика, що

дозволяє дати комплексну рейтингову оцінку існуючим і знову розроблюваним видам рухомого складу, що може застосовуватися при прийнятті рішень на етапах проектування та закупівлі рухомого складу.

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 містяться у джерелах [1-36], 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.

Результати: Розроблені основи теорії управління енергією та потужністю гібридної силової енергоустановки закладають методологічні основи побудови багаторівневих систем управління перспективним енергоефективним рухомим тяговим складом.

Висновки

1. Використання накопичувача енергії у режимі тяги дозволило знизити потужність дизеля, залишаючи сумарну потужність комбінованої силової установки, а отже, і силу тяги, як у серійного тепловоза. При наявності вільної потужності дизеля можливий заряд накопичувача.

2. Було розглянуто можливість різних конструкцій та інтеграцій СНЕ у нові гібридні енергетичні установки. Високий потенціал економії енергії гальмування забезпечить значні переваги при експлуатації дизельних залізничних транспортних засобів.

3. СНЕ на основі акумуляторів або двошарових конденсаторів продемонстрували значний потенціал, оскільки їх можна легко підключити до ланки постійного струму за допомогою перетворювача, що можна зробити для дизельно-електричних залізничних транспортних засобів. Таке розташування також призводить до меншої кількості додаткових компонентів для інтеграції ESS, що підвищує їхню привабливість. Аналогічно, механічні ESS, як і гідростатичні ESS, можуть бути інтегровані в дизельно-гідромеханічну та гідродинамічну системну архітектуру з низькими зусиллями на інтеграцію.

4. Гібридизація гібридів з використанням комбінованих переваг акумуляторів та DLC показала значний потенціал, особливо при застосуванні до приміських та регіональних робочих циклів.

5. Для подальшої роботи пропонується дослідити моделі вартості життєвого циклу для запропонованих СНЕ. Одним із важливих факторів для такої моделі є термін служби СНЕ.

6. Період повернення коштів при встановленні гібрида не перевищує п'ять років. Економічний ефект на десятий рік використання складе 6443,72 тис. грн.

Список використаних джерел

1. Укрзалізниця [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Укрзалізниця>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.11.2009 № 1390 «Про утворення публічного акціонерного товариства „Українська залізниця“» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-п>
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 № 651-р «Про схвалення Концепції розвитку публічного акціонерного товариства „Укрзалізниця“» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-р>
4. Приміський поїзд [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Приміський_поїзд
5. РА2 [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/РА2>
6. Сайт Kyiv City Express [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kyivcityexpress.uz.gov.ua>
7. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.uz.gov.ua>
8. City Express [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/City_Express
9. RailGallery: фото рухомого складу [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
 - <https://railgallery.pp.ua/view/148470/>
 - <https://railgallery.pp.ua/view/148376/>
 - <https://railgallery.pp.ua/view/147983/>
10. Kyiv City Express – Режим доступу: <https://kyivcityexpress.uz.gov.ua>
11. Телеграм-канал UkrzalInfo – Повідомлення №5233. – Режим доступу: <https://t.me/UkrzalInfo/5233>

12. Secondhand Dutch DMUs enter service in Poland [Електронний ресурс] // Railway Gazette. – Режим доступу: <https://www.railwaygazette.com/...>
13. Purchase of diesel trains: Polregio updates its fleet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.railway.supply/...>
14. New rolling stock at SKPL 2024 [Електронний ресурс] // Polrails. – Режим доступу: <https://www.polrails.net/...>
15. Railway electrification in Poland [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_in_Poland
16. Новий рейковий автобус DRAISY [Електронний ресурс] // Railway Supply. – Режим доступу: <https://www.railway.supply/uk/...>
17. Groupe SNCF – Інновації для декарбонізації TER [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
- <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/decarbonization-trains>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/decarbonization-trains/ter-biofiul>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/decarbonization-trains/hybrid-ter>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/decarbonization-trains/battery-ter>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/group/about-us/companies/sncf-voyageurs/opter-renovation>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/local-mobility/draisys>
 - <https://www.groupe-sncf.com/en/innovation/local-mobility/telli>
18. Як працює гібридний автомобіль [Електронний ресурс] // Gepard. – Режим доступу: <https://gepard.org.ua/...>
19. Типи гібридних силових установок [Електронний ресурс] // AutoCentre. – Режим доступу: <https://www.autocentre.ua/...>
20. Гібридний локомотив Stadler для Великобританії [Електронний ресурс] // Zdmira. – Режим доступу: <https://zdmira.com/...>

21. Зображення гібридного локомотива Stadler [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.therailwayhub.co.uk/...>
22. Vectron з комбінованим приводом [Електронний ресурс] // Zdmira. – Режим доступу: <https://zdmira-com.translate.google/...>
23. Siemens Mobility – пресреліз про Vectron Dual Mode [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://press.siemens.com/>
24. Никипелий С.О. Підвищення ефективності роботи тепловозів при застосуванні накопичувача енергії в силовій схемі.
25. Фото 3.1: <https://www.railwaymuseum.lv/...>
26. Фото 3.2: <http://www.trainweb.org/...>
27. Woźniak K., Andrzejewski M., Rymaniak Ł. Fuel and electric energy consumption measurement of vehicles // Pojazdy szynowe / Rail vehicles. – № 4. – Poznań, 2019. – С. 53–61.
28. Saadat, Esfahanian, Saket. Reducing fuel consumption of diesel-electric locomotives... // Journal Rail and Rapid transit. – 2016. – P. 1–13.
29. Dittus H., Hülsebusch D., Ungethüm J. Reducing DMU fuel consumption by hybrid energy storage // Eur. Transp. Res. Rev. – 2011. – Vol. 3. – P. 149–159.
30. Mi C., Masrur M.A., Gao D.W. Hybrid Electric Vehicles. – John Wiley & Sons, 2011. – 470 p.
31. Wen Q., Kingsley S., Smith A. Energy simulation of hybrid inter-city trains // ICE Energy. – 2007. – Vol. 160 (EN3). – P. 123–131.
32. Техніко-економічна документація №620М 0159-2. Рельсовий автобус 620М. – PESA Bydgoszcz SA Holding Polska, 2008. – 57 с.
33. Наказ № Ц-85/25 Ком.т. від 01.05.2023 р. – Укрзалізниця, 2023. – 18 с.
34. Бажинов О.В., Смірнов О.П., Серіков С.А. та ін. Гібридні автомобілі. – Харків: Крок, 2008. – 327 с.
35. Яковенко В.Г. та ін. Методичні вказівки... – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 46 с.
36. Правила тягових розрахунків... Наказ №206-ЦЗ від 22.12.2010. – К.: Укрзалізниця, 2011. – 56 с.