

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Тарас Олександрович ХАЛАІМОВ, 1999 року народження, громадянин України, освіта вища, має належний рівень освітньої, професійної та наукової підготовки.

У лютому 2022 року закінчив Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» та здобув ступінь магістра з відзнакою за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

У жовтні 2022 року вступив до аспірантури Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та впродовж 2022–2026 років виконав освітньо-наукову програму за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у повному обсязі в НТУ «Дніпровська політехніка».

Здобувач має понад три роки науково-педагогічного стажу та працює асистентом кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро, від «30» червня 2026 року, протокол №18, наказ від «30» червня 2026 року № 111, у складі:

Голова разової спеціалізованої вченої ради:

Папайка Юрій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Рецензенти:

1. *Кривда Віталій Валерійович*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

2. *Луценко Іван Миколайович*, кандидат технічних наук, доцент, директор Навчально-наукового інституту електроенергетики, професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Офіційні опоненти:

1. *Щур Ігор Зенонович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електромеханічних та електротехнічних систем Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

2. *Пересада Сергій Михайлович*, доктор технічних наук, професор, науковий керівник кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

На засіданні «3» вересня 2026 року разова спеціалізована вчена рада прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» *Тарасу Олександровичу Халаїмову* на підставі публічного захисту дисертації «**Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту**» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертацію виконано в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро.

Науковий керівник *Бешта Олександр Степанович*, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису українською мовою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

1. Отримало подальшого розвитку методологія розрахунку витрат енергії руху електромобіля, що враховує топологічний профіль маршруту та теоретичний потенціал рекуперативного гальмування під час прогнозування енерговитрат уздовж маршруту.

2. Удосконалено методи порівняльної оцінки енергоефективності BEV за фазами WLTC за критерієм питомих витрат механічної енергії на 1 км шляху.

3. Вперше встановлено, що використання запропонованої методології є коректним в діапазоні зміни кроку дискретизації маршруту в межах 10-100 м з помилкою в межах 8,6 % відносно дискретизації 1 м.

4. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено на LOW фазі WLTC Class 3b з похибкою 11% використання запропонованої методики для лабораторної установки з трициклом.

Розроблено алгоритмічний підхід до ранжування альтернативних шляхів за критерієм питомих витрат енергії, який забезпечує обґрунтований вибір найбільш енергоефективного маршруту з урахуванням топологічного профілю, режимів руху та потенціалу рекуперативного гальмування.

Досліджено вплив джерела цифрових висотних даних і кроку дискретизації маршруту на точність визначення його довжини, топологічного профілю та прогнозованих витрат енергії. За результатами дослідження сформульовано практичні рекомендації щодо вибору параметрів підготовки топологічних даних залежно від необхідної точності та обчислювального навантаження.

Розроблено та використано лабораторну експериментальну установку, яка забезпечує відтворення швидкісних режимів WLTC та імітацію впливу топологічного профілю шляхом формування еквівалентного моменту опору навантажувальною машиною.

Експериментально визначено параметри, критичні для точності прогнозування витрат енергії, зокрема складові витрат лабораторної установки та коефіцієнт опору коченню. Обґрунтовано можливість масштабування запропонованого підходу на різні акумуляторні електричні транспортні засоби шляхом калібрування параметрів моделі.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх використання під час створення сервісів енергоефективної маршрутизації, програмних засобів прогнозування запасу ходу та систем керування автопарками електромобілів із перспективою інтеграції у навігаційні та картографічні сервіси.

Здобувач має 15 наукових публікацій за темою дисертації, з них три статті у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus, одну статтю в науковому фаховому виданні України категорії «Б» та 11 праць апробаційного характеру, що засвідчує належне оприлюднення й апробацію результатів дисертації:

1. O. Beshta, D. Cichoń, O. Beshta Jr., T. Khalaimov, and E. C. Cabana, "Analysis of the Use of Rational Electric Vehicle Battery Design as an Example of the Introduction of the Fit for 55 Package in the Real Estate Market," *Energies*, vol. 16, no. 24, Art. no. 7927, 2023, <https://doi.org/10.3390/en16247927>

2. O. S. Beshta, O. O. Beshta, S. S. Khudolii, T. O. Khalaimov, and V. S. Fedoreiko, "Electric vehicle energy consumption taking into account the route topology," *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 2, pp. 104–112, 2024, <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/104>

3. O. S. Beshta, D. O. Beshta, T. O. Khalaimov, and V. A. Burlaka, "Impact of topographic data on electric vehicle energy prediction," *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 5, pp. 78–85, 2025, <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-5/078>

4. О. С. Бешта і Т. О. Халаїмов, «Оцінка енергоефективності наземних мехатронних рухомих платформ з урахуванням фактору топології», *eis*, вип. 108, с. 8–17, Груд 2025, <https://doi.org/10.32782/EIS/2025-108-2>

5. O. S. Beshta, O. O. Beshta, D. Beshta, S. Tkachenko, T. Khalaimov and D. Skliar, "Technologies for Increasing the Energy Efficiency of Electric Vehicles," 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402470>

6. Бешта О., Бешта О., Халаїмов Т. "Вплив топології маршруту на витрати механічної роботи електромобіля". Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2022: Збірник тез. Дніпро. НТУ «ДП». 25 грудня 2022 р. — С. 50-51. URL: https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_%202022.pdf

7. Бешта О.О., Халаїмов Т.О., Яремчук І.С, Шегера І.П. «Штучний інтелект – як інструмент дослідження впливу фактора манери керування водія на енергоефективність електричного транспорту» Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року: у 2-х т. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 429-430. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2023/molod-2023-vol1.pdf>

8. Ткаченко С.М., Халаїмов Т.О., Скляр Д.Є. "Використання комунікації по CAN-bus з електромобілями для збору експериментальних даних з метою підвищення їх енергоефективності" Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих

вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року: у 2-х т. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 424-425. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2023/molod-2023-vol1.pdf>

9. Ципленков Д.В., Халаїмов Т.О., Лобода А.Ю. "Технології акумуляування електричної енергії для електромобілів: минуле, сучасність, майбутнє". Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року: у 2-х т. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 413-414. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2023/molod-2023-vol1>

10. Бешта О.С., Халаїмов Т.О. "Дослідження інструментів оцінки енергетичної ефективності системи рекуперації електромобілів". Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2024. Збірник тез. Дніпро. НТУ "ДП". 15 грудня 2024 р. – С. 13-15. URL: https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_2023.pdf

11. Халаїмов Т.О., Лобода А.Ю., "Спосіб оцінки енергоспоживання електричного трициклу в лабораторних умовах". «Молодь: наука та інновації» 2024: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 13–15 листопада 2024 року (у 3-х томах) / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. Том 2. 32-33 с. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2024/molod-2024-vol2.pdf>

12. Халаїмов Т.О., "Виклики енергосистеми України в умовах збільшення попиту на електромобілі". Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада» - 2024: матеріали міжнар. конф., 16-18 жовтня 2024 р., м. Дніпро. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. – 45 -46 с. URL: <https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/Forum/Zbirnyk2024.pdf>

13. Халаїмов Т.О., "Компоненти стенду для дослідження енергоефективності електричного трициклу". «Наукова весна» 2025: матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 26–28 березня 2025 року Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2025. С. 164 – 165. URL: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2025.pdf

14. Бешта О.С., Бешта О.О., Халаїмов Т.О. "REMOTE CONTROL SYSTEM FOR A LABORATORY TEST BENCH FOR REAL-TIME ASSESSMENT OF BATTERY-ELECTRIC VEHICLE ENERGY CONSUMPTION". XX Міжнародної конференції з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. НТУ "ДП". С. 540-544, 2025 рік. URL: https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf

15. Халаїмов Т.О., "Сучасні напрями досліджень акумуляторних батарей електромобілів та їх значення для України ". «Наукова весна» 2026: матеріали XVI міжнародної науковотехнічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 4–6 березня 2026 року Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2026. С. 230-231. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/naukova-vesna>

У дискусії взяли участь (голова, рецензенти, офіційні опоненти).

Рецензенти:

1. *Луценко Іван Миколайович*, кандидат технічних наук, доцент, директор Навчально-наукового інституту електроенергетики, професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Запитання. Як розроблений Вами алгоритм по вибору енергоефективного маршруту може впливати на навантаження, яке створює електромобіль коли він прибуде до точки наступного заряджання, які діапазони, на скільки значним може бути цей ефект впливу на відповідні електричні мережі при подальшому заряджанні?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Дякую за питання. Якщо на поїздку витрачено менше енергії, відповідно, меншу кількість енергії необхідно повернути до акумуляторної батареї під час наступного заряджання. Для одного електромобіля цей ефект може бути відносно невеликим, але при значній кількості транспортних засобів зменшення енерговитрат може знижувати загальну потребу в електроенергії для заряджання. Тобто енергоефективна маршрутизація опосередковано може сприяти зменшенню навантаження на зарядну інфраструктуру та електричну мережу.

Запитання. Одиначний електромобіль має незначний вплив, але якщо це потужні e-mobility хаби, то цей вплив може бути значним, а ці хаби вже є частиною концепції системи Smart Grid. Які результати Вашої роботи можуть бути використані для реалізації таких Smart Grid з e-mobility хабами для керування заряджанням та, можливо, розряджанням електромобілів?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Дякую. У першу чергу це прогноз витрат енергії на запланований маршрут. Знаючи початковий запас енергії та прогнозовані витрати на поїздку, можна оцінити, скільки енергії необхідно буде відновити після її завершення. Ця інформація вже може використовуватися системою енергоменеджменту для планування часу та необхідного обсягу заряджання. Тобто моя модель може виступати одним із джерел прогнозних даних для Smart Grid, хоча безпосередньо задача керування заряджанням у дисертації не вирішувалася.

Професор Юрій ПАПАЙКА.

Іване Миколайовичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Доцент Іван ЛУЦЕНКО

Так, відповіддю повністю задоволений.

2. *Кривда Віталій Валерійович*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Запитання. У чому основна відмінність запропонованого Вами підходу від традиційного вибору найкоротшого або найшвидшого маршруту?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Основна відмінність полягає в тому, що маршрут оцінюється не лише за довжиною або часом руху, а за

прогнозованими питомими витратами енергії. При цьому враховується топологічний профіль маршруту, режим руху та потенціал рекуперації. Тому в окремих випадках довший маршрут може виявитися більш енергоефективним і забезпечити менші витрати енергії.

Запитання. За яких умов експлуатації електромобіля застосування запропонованого Вами підходу дає найбільший ефект?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Найбільший ефект отримуємо для маршрутів зі змінним рельєфом, коли альтернативні шляхи суттєво відрізняються за перепадами висот. У таких умовах топологічна складова помітно впливає на загальні витрати енергії, тому вибір енергоефективного шляху стає більш важливим. Для відносно рівнинних маршрутів різниця між альтернативними шляхами, відповідно, буде меншою, як ми бачили на прикладі. Дякую.

Професор Юрій ПАПАЙКА.

Віталію Валерійовичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Доцент Віталій КРІВДА

Так, задоволений.

Опоненти:

1. Пересада Сергій Михайлович, доктор технічних наук, професор, науковий керівник кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

Запитання. Скажіть, будь ласка, який, на Ваш погляд, найбільш важливий результат Вашої роботи: науковий і який практичний? Що, на Ваш погляд, є основним результатом?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Основний науковим результатом я вважаю розвиток методології прогнозування витрат енергії електромобіля з урахуванням топологічного профілю, створення відповідного алгоритму енергоефективної маршрутизації та розрахування потенціалу рекуперативного гальмування. Це дозволяє кількісно оцінювати вплив рельєфу на енерговитрати та порівнювати альтернативні маршрути за єдиним енергетичним критерієм.

Практичний результат полягає в тому, що запропонована методика дає можливість ще до початку поїздки оцінити енерговитрати для декількох альтернативних маршрутів і обрати найбільш енергоефективний. Отримані результати можуть бути використані у навігаційних системах, або модифікувати існуючі, та системах прогнозування запасу ходу, а працездатність самого підходу підтверджена в роботі експериментально.

Запитання. Який із результатів Вашої роботи Ви збираєтесь використовувати у майбутньому і як?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Подальший розвиток я бачу насамперед у наближенні моделі до реальних умов експлуатації електромобіля. Це врахування фактичного або прогнозованого швидкісного профілю, змінного значення ККД тягового електропривода або інвертора, реальних обмежень рекуперації та можливості уточнення параметрів моделі за даними попередніх поїздок. Наступним кроком може бути інтеграція такого прогнозування у

системи, які будуть не просто оцінювати альтернативні маршрути, а рекомендувати найбільш енергоефективний маршрут для конкретного електромобіля за поточних умов руху. Окремим перспективним напрямом я вважаю використання інформації про топологію маршруту в системах прогнозного керування тяговим електроприводом.

Професор Юрій ПАПАЙКА.

Сергію Михайловичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Професор Сергій ПЕРЕСАДА

Так, я задоволений відповідями. Дякую.

2. *Щур Ігор Зенонович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електромеханічних та електротехнічних систем Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Запитання. З яких джерел ви брали топологічні дані? Чи це відкриті джерела та на скільки вони є доступними?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Джерела топологічних даних, які використані в роботі, є відкритими. В роботі я посилаюсь на відповідний сервіс, який є відкритим, з відкритою ліцензією та надає доступ до розглянутих трьох баз. Тобто можна отримувати інформацію про топологію конкретного маршруту, використовуючи вебдодаток, або, якщо ми говоримо про більшу інтеграцію в певні сервіси маршрутизації, то там треба використовувати сервіси відкритого API Google. Проте частину інформації про топологію було взято не тільки з цих сервісів, а й із додатку Google Earth, тому що у відкритому доступі у зручному вигляді вони не викладались. В роботі використовувалась комбінація відкритих даних.

Запитання. Ви своїми дослідженнями показали, що крок дискретизації маршруту від 10 до 100 метрів не перевищує похибки 8,6 %. Це досить широкий діапазон. Який діапазон Ви рекомендуєте брати і як він залежить від конкретних маршрутів?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. В роботі зазначався діапазон від 10 до 100 метрів з метою того, щоб у подальшому можна було адекватно обирати відповідне значення для зменшення навантаження на розрахункові потужності того чи іншого сервісу. Ми розуміємо, що при розрахунку для еталону в один метр дискретизації отримуються найбільш адекватні дані. Проте все ж таки треба шукати баланс між максимальною точністю і реальною швидкістю, для чого і було задано саме цей діапазон. Для побудови вебсервісу я обирав би 10 метрів. Це гранична межа, яка має прийнятну точність і не так сильно навантажує систему, але якщо ми говоримо про портативні пристрої, які можуть існувати окремо від додатку для телефону, то це повинні бути діапазони ближче до 100 метрів.

Запитання. У Вашій роботі Ви застосовували постійне значення ККД силового тракту? Ну, звичайно, зрозуміло, що в різних режимах і двигун, і особливо силовий перетворювач, за різних потужностей і швидкостей мають ККД, який змінюється в досить відчутних межах. І найкраще в цьому випадку, звичайно, було б використати карти енергетичної ефективності, які зараз є популярними. Яка Ваша думка, наскільки це привело до похибки у Ваших

дослідженнях?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Дякую. Це впливає, якщо маршрути суттєво відрізняються за швидкістю, моментом і робочими точками електроприводів. І якщо ж порівнюється маршрут для одного автомобіля з близькими швидкісним режимом то значна частина цієї похибки має систематичний характер, тому порядок маршрутів, як вони розділяються, як правило, буде більш стійким. У дисертації узагальнений ККД прийнято як спрощення для порівняльної оцінки, а для точного прогнозування конкретного серійного автомобіля доцільно переходити до саме цих карт ККД, які ви зазначаєте.

Запитання. Ви зробили дуже гарний стенд, але я не побачив, як його застосували в цій роботі. Чи це на перспективні подальші дослідження?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Стенд в роботі використовувався безпосередньо, єдине, що не було можливості показати більш візуально та покроково, як це робилось, для зменшення обсягу самої роботи. Виокремлення всіх складових сил відбувалося вживу, на цьому стенді, з відповідним калібруванням усіх вимірювальних приладів. Це була серія досліджень, яка тривала певну кількість місяців, і поступово трицикл і стенд розроблялись, що і висвітлено в роботах у рамках конференцій, в яких я брав участь за період навчання, і в роботі можна подивитись результати цього шляху.

Запитання. Чи можна використати результати Ваших досліджень не тільки для вибору шляху з найкращою енергоефективністю, а й для керування електроприводом під час руху? Це стосується більше, можливо, різних ступенів безпілотних систем. Яка Ваша думка?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Так, це один із перспективних напрямів розвитку роботи. Якщо профіль висоти відомий наперед, інформацію про майбутню зміну ухилу можна використовувати як прогнозний сигнал для формування швидкості або моменту. Наприклад, перед підйомом або спуском система може завчасно змінювати режим роботи електропривода з урахуванням енергетичних обмежень і можливості рекуперації. Це актуально не тільки для електромобілів, а й, як Ви кажете, для всіх видів наземних платформ.

Професор Юрій ПАПАЙКА.

Ігорю Зеноновичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Професор Ігор ЩУР

Так, задоволений.

Голова ради:

Папайка Юрій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Запитання. Який показник, на Вашу думку, найбільш повно розкриває енергетичну ефективність маршруту і яким показником користуватися найбільш доцільно?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Це залежить від поставленої задачі. Для порівняння саме маршрутів у роботі використано питомі витрати механічної енергії, оскільки вони безпосередньо характеризують вплив топології та умов

руху. Для оцінки запасу ходу або економічного ефекту результат уже необхідно перераховувати в електричну енергію з урахуванням ККД силового тракту.

Тобто механічна енергія використовується для коректного ранжування маршрутів, а електрична для практичної оцінки їх використання.

Запитання. Які вхідні параметри моделі найбільше впливають на точність прогнозування? Про крок дискретизації Ви сказали. Можливо, є набір цих параметрів, які є впливовими чинниками на точність?

Відповідь здобувача Тараса Халаїмова. Найбільш суттєвими є маса транспортного засобу, швидкісний профіль, коефіцієнт опору коченню, аеродинамічні параметри та топологічний профіль маршруту. Окремо в роботі досліджено вплив джерела висотних даних і кроку дискретизації маршруту.

Тому для практичного застосування моделі важливим є попереднє калібрування параметрів під конкретний електромобіль і використання достатньо точних топографічних даних.

Професор Юрій ПАПАЙКА.

Дякую. Я задоволений відповідями.

Зауваження рецензента доц. Івана Луценко за результатами вивчення дисертації.

1. Запропонована методика ранжує альтернативні маршрути за критерієм питомих витрат енергії. Водночас у роботі не повною мірою розглянуто випадки, коли для користувача важливим є не лише мінімальне енергоспоживання під час поїздки, а й забезпечення заданого залишкового рівня заряду АКБ у кінцевій точці. Така вимога може бути пов'язана з подальшим рухом, відсутністю гарантованого заряджання або використанням електромобіля як резервного джерела енергії. Доцільно пояснити, яким чином до алгоритму вибору маршруту може бути введено обмеження за мінімально допустимим кінцевим рівнем SOC.

2. У техніко-економічному обґрунтуванні ефективність вибору маршруту оцінено переважно за значенням зекономленої електроенергії та її вартістю. Водночас зменшення електроспоживання також скорочує її сумарну конвертацію через АКБ і потенційно впливає на ступінь її деградації. Доцільно було б оцінити можливість доповнення запропонованого критерію показником еквівалентного циклування батареї, особливо для електромобілів, які можуть використовуватися як споживачі-регулятори або компенсатори активного навантаження в розподільних мережах.

3. Розроблена модель передбачає порівняння маршрутів за відомими топологічними та швидкісними профілями. Для практичної реалізації інформаційного сервісу доцільно враховувати, що доступність зарядної інфраструктури, завантаженість зарядних пунктів і тривалість очікування можуть змінюватися протягом поїздки. Потребує уточнення, як ці параметри можуть бути введені до процедури вибору маршруту поряд з основним енергетичним критерієм без втрати фізичної інтерпретованості розрахунку.

4. У роботі показано можливість застосування запропонованого підходу як для одного електромобіля, так і для автопарку. Водночас перехід від індивідуального прогнозування до групового використання потребує врахування

різних технічних характеристик транспортних засобів, початкових рівнів SOC, маршрутів і часу завершення поїздок. Доцільно пояснити, яким чином результати прогнозування для окремих електромобілів можуть бути агреговані для оцінювання сумарного електроспоживання автопарку та подальшого планування його заряджання.

Відповіді здобувача Тараса Халаїмова на зауваження рецензента доц. Івана Луценко.

Щодо першого зауваження

Зауваження слушне. Обмеження за кінцевим рівнем SOC може бути введене без зміни фізичної моделі. Для кожного маршруту за початковим SOC і прогнозованими витратами енергії визначається кінцевий SOC. Якщо він нижчий за заданий мінімум, маршрут виключається з порівняння. Серед допустимих маршрутів обирається найбільш енергоефективний, а мінімальний SOC задається користувачем відповідно до необхідного резерву енергії.

Щодо другого зауваження

Погоджуюся із зауваженням. Зменшення енерговитрат знижує обсяг енергії, що проходить через АКБ, а отже і її еквівалентне циклування. Водночас безпосередньо оцінювати збільшення строку служби лише за цим показником некоректно, оскільки деградація залежить також від температури, глибини розряду, струмів, SOC та календарного старіння. Тому оцінювання деградації АКБ є окремим перспективним напрямом розвитку методики.

Щодо третього зауваження

Доступність зарядних станцій, їх завантаженість і час очікування доцільно враховувати на рівні алгоритму вибору маршруту як додаткові обмеження або критерії. Якщо запасу енергії недостатньо, маршрути без доступної зарядної станції виключаються, а для інших враховується час заряджання та очікування. Це дозволяє розширити практичні можливості сервісу без зміни основної моделі енерговитрат.

Щодо четвертого зауваження

Перехід до автопарку виконується шляхом окремого прогнозування для кожного електромобіля з подальшим агрегуванням результатів. Для кожного авто враховуються його параметри, початковий SOC, маршрут і прогнозовані енерговитрати. Це дозволяє визначити сумарну потребу автопарку в енергії та сформулювати графік заряджання без використання усередненої моделі автомобіля.

Зауваження рецензента доц. Віталія Кривди за результатами вивчення дисертації.

1. У розрахунковій моделі коефіцієнт опору коченню приймається як заданий параметр транспортного засобу. Водночас у реальних умовах його значення залежить від типу та стану дорожнього покриття, тиску і температури шин, їх зношеності, швидкості руху та погодних умов. Доцільно пояснити, як у запропонованій методиці можуть ураховуватися різні категорії дорожнього покриття та зміна технічного стану шин під час тривалої експлуатації електромобіля.

2. Експериментальне визначення коефіцієнта опору коченню виконано під час взаємодії колеса з роликми лабораторної установки. Такий контакт

відрізняється від руху шини по плоскій дорожній поверхні кривиною опорної поверхні, характером деформації шини та розподілом тиску в зоні контакту. Потребує уточнення, чи необхідно вводити коригувальний коефіцієнт під час перенесення експериментально визначених параметрів стенда на реальні дорожні умови.

3. Запропонований підхід орієнтований на мінімізацію витрат енергії, однак маршрут із найменшим енергоспоживанням не завжди є найбільш раціональним з позиції експлуатаційної безпеки. Значні поздовжні ухили, тривалі ділянки руху під гору, низький коефіцієнт зчеплення та обмеження швидкості можуть підвищувати навантаження на гальмівну систему і погіршувати стійкість автомобіля. Доцільно пояснити можливість введення до алгоритму додаткових обмежень за граничним ухилом, станом дорожнього покриття, допустимою швидкістю та умовами безпечного гальмування.

4. У техніко-економічній частині ефект від вибору маршруту визначається переважно за зменшенням споживання електричної енергії. Проте експлуатація автомобіля на маршрутах із різною якістю покриття, кількістю розгонів і гальмувань та значними ухилами може по-різному впливати на зношування шин, гальмівних механізмів, підвіски й інших елементів ходової частини. Доцільно уточнити, чи може критерій вибору маршруту бути розширений до мінімізації сукупних експлуатаційних витрат з урахуванням технічного обслуговування та ресурсу компонентів автомобіля.

Відповіді здобувача Тараса Халаїмова на зауваження рецензента доц. Віталія Кривди.

Щодо першого зауваження

У базовій розрахунковій моделі коефіцієнт опору коченню прийнято сталим, щоб окремо дослідити саме вплив топології маршруту. У реальних умовах цей коефіцієнт доцільно задавати окремо для різних ділянок маршруту залежно від типу та стану дорожнього покриття. Додатково можуть вводитися коригувальні коефіцієнти, що враховують тиск і технічний стан шин, температуру та погодні умови. Для конкретного електромобіля ці параметри також можуть уточнюватися за результатами реальних поїздок.

Щодо другого зауваження

Погоджуюся із зауваженням. Значення коефіцієнта опору коченню, отримане на роликовій установці, характеризує саме систему «колесо та ролик» і не повинно безпосередньо переноситися на рух автомобіля по плоскій дорожній поверхні. Через кривизну ролика змінюються деформація шини та умови контакту, тому при такому перенесенні необхідне коригування. Для практичного застосування моделі до конкретного автомобіля більш коректним буде визначення коефіцієнта в дорожніх умовах, наприклад за результатами руху накатом, або його калібрування за даними фактичних поїздок. У дисертації стендове значення використовувалося насамперед для експериментального дослідження створеної установки.

Щодо третього зауваження

Зауваження є обґрунтованим. Енергетичний критерій не повинен мати пріоритет над вимогами безпечної експлуатації автомобіля. Тому в практичному алгоритмі доцільно спочатку перевіряти маршрути за встановленими

обмеженнями, зокрема за допустимим ухилом, швидкістю руху, станом дорожнього покриття та можливістю безпечного гальмування. Маршрути, які не відповідають цим вимогам, мають бути виключені з подальшого розгляду. І вже серед допустимих варіантів можна виконувати вибір за мінімальними витратами енергії.

Щодо четвертого зауваження

Погоджуюся, що для оцінки реальної ефективності експлуатації автомобіля критерій може бути розширений. Крім вартості спожитої електроенергії, до нього можуть входити витрати, пов'язані зі зношуванням шин, гальмівних механізмів, підвіски, акумуляторної батареї та технічним обслуговуванням. У такому випадку енергетичні витрати будуть однією зі складових загальних експлуатаційних витрат. Однак для їх коректного врахування необхідні окремі моделі зношування та відповідні експериментальні або статистичні дані, тому в дисертації ця задача окремо не розглядалася.

Зауваження офіційного опонента проф. Сергія Пересади за результатами вивчення дисертації.

1. Наукова новизна пункти 3 та 4 сформульована не дуже вдало відповідно до загальної формули «що нове, чим відрізняється, що дає».

2. Запропонована модель визначає необхідну тягову силу за заданим швидкісним профілем, однак не містить динамічної моделі замкненої системи тягового електропривода. Такий квазістатичний розгляд має відомі обмеження, які необхідно було б проаналізувати.

3. Параметри втрат мотор-колеса, роликової системи, навантажувальної установки та опору коченню визначалися послідовно за результатами окремих експериментів. У роботі не наведено формального аналізу ідентифікованості цих параметрів і можливості їх взаємної компенсації. Варто уточнити, яким чином це може впливати на точність оцінок.

4. Під час експериментального відтворення швидкісного профілю WLTC використано замкнену систему регулювання швидкості електричного транспортного засобу. Водночас у дисертації недостатньо розкрито методику вибору структури та параметрів регулятора, а також показники якості регулювання за зміни еквівалентної маси й моменту навантаження. Наскільки це критично ?

Відповіді здобувача Тараса Халаїмова на зауваження рецензента проф. Сергія Пересади.

Щодо першого зауваження

Погоджуюсь, що формулювання окремих положень наукової новизни можна було зробити більш чіткими з позиції виділення саме нового результату та його відмінності від відомих підходів.

Щодо другого зауваження

У дисертації дійсно не ставилася задача дослідження динамічних процесів замкненої системи тягового електропривода. Основною метою було визначення витрат енергії на проходження маршруту та дослідження впливу його топологічного профілю, тому електропривод розглядався на рівні енергетичного балансу за заданого швидкісного профілю. Такий підхід є достатнім для

маршрутного прогнозування, коли тривалість характерних ділянок руху суттєво перевищує тривалість електромеханічних перехідних процесів. Водночас під час коротких інтенсивних розгонів і гальмувань вплив динаміки електропривода може бути суттєвішим. Тому подальший розвиток моделі доцільно пов'язати з включенням динамічної моделі двигуна, силового перетворювача та системи керування.

Щодо третього зауваження

Для зменшення взаємного впливу параметрів їх визначали послідовно: спочатку оцінювали базові втрати установки, далі вплив додаткового навантаження та опір коченню. Формальний аналіз ідентифікованості параметрів у роботі не проводився, тому взаємна компенсація похибок можлива. У подальших дослідженнях доцільно застосувати аналіз чутливості та методи параметричної ідентифікації.

Щодо четвертого зауваження

Дякую за зауваження. Система регулювання швидкості використовувалася лише для відтворення заданого швидкісного профілю, а синтез регулятора не входив до завдань роботи. Критичним було забезпечення достатньої точності підтримання швидкості при зміні навантаження. Водночас детальніше наведення методики налаштування та показників якості регулювання могло б підвищити повноту опису експериментальної установки.

Зауваження офіційного опонента проф. Ігоря Щура за результатами вивчення дисертації.

1. У розрахунковій моделі перехід від механічної роботи до витрат електричної енергії виконується із застосуванням узагальнених значень ККД силового тракту. Водночас ефективність тягової електричної машини та інвертора істотно залежить від робочої точки, напруги ланки постійного струму, температури та алгоритму роботи системи керування. Доцільно пояснити, за яких умов використання сталого ККД не впливає на ранжування альтернативних маршрутів та як зміняться результати після введення карт ефективності електродвигуна й силового перетворювача.

2. У роботі оцінюється теоретичний потенціал рекуперативного гальмування. Проте фактична рекуперативна потужність обмежується допустимими режимами тягової електричної машини й інвертора, рівнем заряду, температурою та станом технічного здоров'я акумуляторної батареї. Бажано уточнити, яким чином ці обмеження можуть бути інтегровані до запропонованої методики та як їх урахування впливатиме на вибір енергоефективного маршруту.

3. Експериментальну валідацію проведено на електричному трициклі під час відтворення LOW-фази WLTC Class 3b. Водночас у роботі недостатньо формалізовано критерії перенесення отриманих результатів на повнорозмірні легкові BEV та на режими Medium, High і Extra High, у яких зростає вплив аеродинамічного опору та змінюються робочі точки тягового електропривода. Доцільно конкретизувати критерії, необхідні для такого масштабування.

4. Значна частина великого 2-го розділу дисертації, зокрема підрозділи 2.1 – 2.4, базуються лише на аналізі літературних даних, тому їх доцільно було б перенести в 1-й розділ. Водночас, у цьому розділі бракує детальнішого пояснення методики поєднання розрахунку складових витрат енергії з

поточними даними топологій маршрутів та швидкісних режимів руху, а також вказання комп'ютерного середовища, в якому ці розрахунки проводилися.

5. Автор не вірно трактує термін «споряджена маса», що видно з табл. 3.2 та опису експериментів на стор. 161.

6. У детальному описі експериментального стенда все ж таки бракує інформації про те, куди скидається енергія гальмівної машини, якою була методика розрахунку моменту на ведучому колесі трицикла та як задавалася його швидкість руху відповідно до застосованої тахограми фази LOW циклу WLTC Class 3b.

7. У виразі (2.15), де визначається сила опору коченню, не зрозуміло, звідки появився квадрат косинуса кута нахилу дороги. Традиційно тут цей множник фігурує в першому степені.

8. У виразах (2.44), (2.45), (2.48) та (2.49), які відображають складові витрат енергії на подолання складових опор рухові, пропущені відповідні сили.

9. Не дивлячись на дуже добре оформлення та грамотність написання дисертації, в ній помічено наступні помилки:

- на рис. 1.6 швидкість руху має бути в км/год, а не в м/с;
- на стор. 78 та 79 повторюється один і той же абзац;
- автор чомусь вживає означення «рух вгору» замість «рух під гору» або «рух на підйом» та «рух під гору» замість «рух згори» чи «рух на спуску»;
- автор також плутає терміни «параметри» та «змінні» або «координати» (стор. 155);
- замість часто вживаного в дисертації терміну «холостій хід» чи його позначення ХХ треба вживати «неробочий хід»;
- на осях графічних залежностей та інших підписах на рисунках вживаються, окрім українських, також і англійські слова та одиниці вимірювань»;
- момент сили в дисертації позначається різними буквами, М і Т;
- у позначення одиниць вимірювань часто в знаменниках бракує дужок, особливо в 4-у розділі.

Відповіді здобувача Тараса Халаїмова на зауваження опонента проф. Ігоря Щура.

Щодо першого зауваження

Зауваження є слушним. У роботі використано узагальнене значення ККД силового тракту, що є одним із прийнятих спрощень моделі. Погоджуюся, що застосування карт ККД електродвигуна та силового перетворювача дозволило б підвищити точність визначення електричних витрат енергії. Цей напрям доцільно врахувати при подальшому розвитку моделі.

Щодо другого зауваження

Погоджуюся із зауваженням. У дисертації оцінено теоретичний потенціал рекуперативного гальмування, тоді як фактична кількість повернутої енергії залежить від обмежень тягового електропривода та акумуляторної батареї. Урахування цих обмежень є доцільним напрямом подальшого уточнення запропонованої методики.

Щодо третього зауваження

Зауваження є обґрунтованим. Отримана під час LOW-фази похибка

характеризує саме створену лабораторну установку і не повинна безпосередньо переноситися на повнорозмірний BEV. На рівні фізичної моделі структура сил опору залишається однаковою, але для конкретного автомобіля необхідне калібрування маси, коефіцієнта опору коченню, аеродинамічних параметрів, радіуса колеса та характеристик силового тракту. Для різних фаз швидкості особливо зростає значення аеродинамічного опору та змінюються робочі точки електропривода. Тому повне масштабування потребує окремої валідації для повнорозмірного електромобіля у відповідному діапазоні швидкостей.

Щодо четвертого зауваження

Погоджуюся із зауваженням. Частина оглядового матеріалу підрозділів, дійсно доцільніше було б перенести до першого розділу. Розрахунки проводились у комп'ютерному середовищі Excel з використанням MATLAB для вирішення окремих задач.

Щодо п'ятого зауваження

Це термінологічна неточність, із зауваженням опонента погоджуюсь.

Щодо шостого зауваження

Погоджуюся, що енергетичні процеси в експериментальній установці необхідно було описати детальніше. Навантажувальна машина керувалась перетворювачем частоти Altivar 71 у режимі формування заданого моменту опору. Під час її роботи енергія гальмівної машини розсіювалася на підключеному гальмівному резисторі. Частина енергії при цьому втрачалася у вигляді теплоти в самій навантажувальній машині та перетворювачі.

Під час рекуперативного гальмування трицикла мотор-колесо BLDC переходило в генераторний режим, а контролер забезпечував передачу частини отриманої електричної енергії назад до акумуляторної батареї. При цьому частина енергії втрачалася в обмотках та магнітній системі мотор-колеса, силових ключах контролера і провідниках, а також на механічне тертя у вузлах.

Щодо сьомого зауваження

Квадрат косинуса виникає внаслідок подвійного врахування кута нахилу в прийнятій системі координат: перший $\cos \theta$ з'являється при визначенні нормальної складової ваги автомобіля, а другий при проєктуванні відповідної сили. Тому в моделі отримано цей множник у квадраті. Для горизонтальної поверхні $\theta = 0$, тому вираз переходить у традиційну форму.

Щодо восьмого зауваження

Із зауваженням погоджуюсь.

Щодо дев'ятого зауваження

Погоджуюся з наведеними зауваженнями щодо оформлення дисертації. Ці зауваження приймаю та врахую в подальших публікаціях і дослідженнях.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує *Халаїмову Тарасу Олександровичу* ступінь доктора

філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Голова разової
спеціалізованої
вченої ради




Юрій ПАПАЙКА

м. Дніпро, 3 вересня 2026 р.