



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Артем ПАВЛИЧЕНКО

» _____ 2026 р.

ВИСНОВОК

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Халаїмова Тараса Олександровича на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Витяг

з протоколу №6 засідання кафедри електропривода
від «29» квітня 2026 року

Присутні: головуєчий на засіданні завідувач кафедри електропривода к.т.н., доцент Худолій С.С.; член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, професор кафедри електропривода Бешта О.С.; ректор НТУ «ДПУ», к.т.н., професор, професор кафедри електропривода Азюковський О.О.; професор кафедри електропривода, к.т.н., доцент Ципленков Д.В.; директор інституту електроенергетики, професор кафедри електроенергетики, к.т.н., доцент Луценко І.М.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Балахонцев О.В.; доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, к.т.н., доцент Бешта Д.О.; завідувач кафедри електротехніки, PhD, Бешта О.О.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Бородай В.А.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Дяченко Г.Г.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Кириченко Г.В.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Лисенко О.Г.; доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, к.т.н., доцент Ткаченко С.Н.; доцент кафедри електропривода, к.т.н., доцент Яланський О.А.; завідувач кафедри автомобільного транспорту, к.т.н., доцент Кривда В.В.; старший викладач кафедри електропривода Боровик Р.О.; асистент кафедри електропривода Пінчук С.А.; асистент кафедри електропривода Бабенко М.В., асистент кафедри електропривода Плагунов О.М., аспірант кафедри електропривода Джур Р.В., аспірант кафедри електропривода Шихов С.К., аспірант кафедри електропривода Халаїмов Т.О., аспірант кафедри електропривода Книш В.О., завідувач лабораторією Плахтій Ю.Д.; старший лаборант Холодова В.Р.; лаборант Панкова Л.О.

Серед присутніх 1 доктор технічних наук та 14 кандидатів технічних наук – фахівців зі спеціальності, за якою виконано дисертацію.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри електропривода інституту електроенергетики Халаїмова Тараса Олександровича на тему «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту», поданого на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Науковий керівник:

– доктор технічних наук, професор кафедри електропривода НТУ «Дніпровська політехніка», член-кореспондент НАН України Бешта Олександр Степанович.

Дисертація виконувалась на кафедрі електропривода НТУ «Дніпровська політехніка».

Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (протокол № 11 від 29.11.2022р.).

Виступили:

Здобувач **Халаїмов Т.О.** представив презентацію за основними положеннями дисертації «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

(Аспірант викладає основні положення своєї презентації акцентуючи увагу на актуальності теми дослідження, предметі, об'єкті, завданнях, науковій новизні на результатах отриманого дослідження).

Після закінчення презентації Халаїмова Т.О., йому були поставлені запитання присутніми на фаховому семінарі фахівцями: завідувачем кафедри електропривода Худолієм С.С., завідувачем кафедри електротехніки Бештою О.О., професором кафедри електропривода, Ципленковим Д.В., доцентом кафедри електропривода Лисенко О.Г., доцентом кафедри електропривода Бородаєм В.А., доцентом кафедри електропривода доцентом Дяченко Г.Г., доцентом кафедри електропривода Яланським О.А., старшим викладачем Боровиком Р.О., аспірантом кафедри електропривода Книшом В.О., асистентом кафедри електропривода Плагуновим О.М., аспірантом кафедри електропривода Шиховим С.К.

Поставлені питання стосувалися вибору розрахункової моделі та прийнятих у ній припущень, структури алгоритму визначення витрат енергії, характеру й достовірності отриманих залежностей, а також технічних особливостей проведення експериментальних досліджень, складу лабораторної установки та характеристик використаного обладнання. Особливу увагу було приділено універсальності запропонованого підходу, можливості його масштабування й адаптації до інших типів електричних транспортних засобів, повноті апробації результатів дослідження, а також перспективам їх застосування у практичній діяльності підприємств, під час планування енергоефективних маршрутів та в освітньому процесі.

На поставлені питання здобувач надав аргументовані відповіді.

Після відповідей на запитання виступили:

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Бешта Олександр Степанович.

Аспірантом Халаїмовим Тарасом Олександровичем за результатами проведеного аналізу наукової літератури визначено актуальність теми дисертаційного дослідження, яка полягає в необхідності підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту шляхом удосконалення підходів до прогнозування витрат електричної енергії з урахуванням реальних умов експлуатації, зокрема топологічного профілю маршруту та потенціалу рекуперативного гальмування. Зростання частки акумуляторних електромобілів у транспортному секторі підвищує вимоги до точності оцінювання запасу ходу та енерговитрат, оскільки ці показники визначають надійність планування поїздок і навантаження на зарядну інфраструктуру.

У дисертації Халаїмовим Т.О. обґрунтовано, що зовнішні та внутрішні фактори руху істотно впливають на енергоспоживання електромобіля, а неврахування топології маршруту та параметрів опору коченню спричиняє систематичну похибку прогнозу витрат енергії та запасу ходу. Встановлено, що топологічний фактор формує додаткову складову загального опору руху через силу скатування та кут ухилу дорожнього профілю, що є визначальним під час порівняння альтернативних шляхів маршруту.

Теоретичне значення результатів полягає у подальшому розвитку методології розрахунку навантаження системи електропривода електромобіля та прогнозування питомих енерговитрат уздовж маршруту з урахуванням топологічного профілю і потенціалу рекуперативного гальмування, а також у формуванні вимог до вхідних даних моделі для забезпечення співставного порівняння альтернативних маршрутів. У роботі виконано порівняльну оцінку впливу джерел топографічних даних та кроку дискретизації на точність прогнозування механічної роботи/витрат енергії на сегментах маршруту різної довжини, за результатами чого обґрунтовано практично доцільний діапазон дискретизації, як компроміс між точністю та обчислювальним навантаженням.

Практичне значення роботи визначається розробленням і апробацією алгоритмічного підходу до ранжування альтернативних маршрутів за питомими

енерговитратами на основі уніфікованих профілів швидкості з урахуванням рекуперації як складової енергетичного балансу, що забезпечує обґрунтований вибір найбільш енергоефективного шляху серед запропонованих альтернатив. Експериментальна частина підтверджує застосовність підходу в лабораторних умовах шляхом створення та використання навантажувальної установки з трициклом, виокремлення складових потужності та втрат, а також введення еквівалентних параметрів для імітації впливу топологічного профілю. Одержані наукові результати дисертаційної роботи впроваджено у практичну діяльність ТОВ «ПНМЕК «ТОКА» під час аналізу умов експлуатації електромобілів, планування користування зарядною інфраструктурою та формування рекомендацій щодо ефективного вибору маршруту руху і режимів заряджання, що підтверджено відповідним актом упровадження. Також наявний акт упровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес у межах дисциплін «Управління енергією та оптимізація руху електромобіля» та «Основи гібридних та електричних транспортних засобів та їх силові агрегати».

Аспірант Халаїмов Т.О. особисто здійснив теоретичні та експериментальні дослідження, узагальнив та інтерпретував отримані результати, розробив алгоритмічні положення прогнозування енерговитрат і процедури порівняльної оцінки альтернативних маршрутів, виконав чисельні розрахунки та статистичне опрацювання даних. Для аналізу результатів використано інструменти математичного моделювання та обробки даних (MATLAB, Excel). Достовірність висновків підтверджується достатнім обсягом розрахункових і експериментальних даних.

Результати дисертаційної роботи Халаїмова Т.О. мають наукову новизну, теоретичну та практичну цінність, оскільки запропоновані теоретичні й методичні положення забезпечують підвищення обґрунтованості прогнозування енерговитрат і запасу ходу акумуляторних електромобілів та створюють підґрунтя для енергоефективного вибору маршруту з урахуванням топології та рекуперації.

Дисертаційне дослідження є завершеною науково-дослідною роботою, самостійно виконаною автором на належному теоретичному рівні. Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є аргументованими, теоретично обґрунтованими і достовірними, що визначає внесок автора у розвиток наукових підходів до підвищення енергоефективності електромобільного транспорту.

За період підготовки дисертаційної роботи Халаїмовим Т.О. опубліковано 15 наукових праць за тематикою дослідження, з яких 3 статті індексуються у Scopus, 1 стаття опублікована у фаховому виданні (категорії Б), а також оприлюднено 11 тез наукових конференцій, у яких викладено основні положення, що виносяться на захист.

Під час навчання в аспірантурі до виконання всіх як теоретичних так і практичних завдань ставився відповідально.

Вважаємо, що за науковим змістом, рівнем обґрунтування та практичним значенням одержаних результатів дисертація Халаїмова Тараса Олександровича відповідає вимогам, що пред'являються до кваліфікаційних

наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, та може бути рекомендована до захисту за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 «Електрична інженерія».

Рецензенти:

Кривда В.В., доцент кафедри автомобільного транспорту, к.т.н., доцент.

Луценко І.М., професор кафедри електроенергетики, к.т.н., доцент.

Кривда В.В., доцент кафедри автомобільного транспорту, к.т.н., доцент.

Викладається зміст звіту.

Стрімке зростання частки акумуляторного електромобільного транспорту та підзаряджуваних гібридів у структурі автомобільного парку супроводжується загостренням експлуатаційних викликів, ключовими з яких є варіативність реального запасу ходу, залежність енергоспоживання від умов руху та складність достовірного прогнозування енерговитрат на маршруті. Для практики автомобільного господарства та сервісної експлуатації особливо важливими є задачі обґрунтованого планування поїздок і заряджання, підвищення ефективності використання енергії в дорожніх умовах та зменшення кількості зарядних циклів, що прямо впливає на ресурс тягової акумуляторної батареї та економіку експлуатації.

У цьому контексті актуальною є науково-прикладна задача, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота Халаїмова Т.О., а саме: підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту шляхом розроблення й валідації підходу до прогнозування витрат енергії на маршруті з урахуванням топологічного профілю, режимів руху за стандартизованими циклами та потенціалу рекуперативного гальмування. Практичний зміст отриманих результатів узгоджується з сучасними тенденціями розвитку електронних систем допомоги водієві, data-driven сервісів для електромобілів і гібридів, а також методів інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо маршрутизації та режимів експлуатації.

Основні результати, отримані у дисертаційній роботі, мають суттєву наукову новизну:

1. Розроблено та обґрунтовано підхід до порівняльної оцінки альтернативних маршрутів за критерієм питомих витрат енергії з урахуванням топології маршруту та режимів руху, що дозволяє виконувати ранжування шляхів, які пропонують картографічні сервіси, з позицій енергоефективності, а не лише за критеріями часу чи довжини поїздки.

2. Виконано аналіз впливу параметрів топографічних даних на точність прогнозування енерговитрат, зокрема показано роль джерела цифрової моделі рельєфу та кроку дискретизації маршруту в формуванні похибок розрахунку, що має практичне значення для застосування підходу у навігаційних/аналітичних сервісах.

3. Експериментально підтверджено застосовність запропонованої методики на лабораторній установці з трициклом та навантажувальною

машиною, що забезпечує імітацію впливу топології через еквівалентне навантаження та дозволяє валідовувати модель на відтвореному швидкісному профілі WLTP class 3b LOW.

Зауваження до тексту дисертації:

1. Доцільно більш чітко окреслити експлуатаційні межі застосовності запропонованого підходу з позицій автомобільної практики: які дорожні сценарії є типовими для коректного ранжування маршрутів (місто/приміські ділянки/гірські дороги), а також як на результат можуть впливати режими руху, що відхиляються від WLTP (щільний трафік, затори, агресивні прискорення, сезонні умови зниження зчеплення).

2. Бажано розширити пояснення щодо врахування обмежень рекуперації, які в реальній експлуатації залежать від стану АКБ, налаштувань силового агрегату та алгоритмів керування. Це дозволить пов'язати розрахунковий потенціал рекуперації з практичними сценаріями експлуатації та підвищити прикладну цінність методики для задач планування поїздок і заряджання.

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Халаїмова Т.О., її наукову новизну і практичну цінність.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до чинних вимог МОН України до оформлення дисертацій. Наукові положення, що виносяться на захист, є достатньо обґрунтованими, а отримані результати мають наукову і прикладну значущість для задач енергоефективної експлуатації електромобілів, планування маршрутів та розвитку інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері автомобільного транспорту.

Луценко І.М., професор кафедри електроенергетики, к.т.н., доцент.

Розвиток електромобільного транспорту супроводжується не лише зміною технологій пересування, але й формуванням нового типу електричного навантаження, параметри якого залежать від інтенсивності експлуатації транспортних засобів, пройденої відстані, режимів руху, рельєфу місцевості та фактичних витрат енергії. Зростання кількості електромобілів і зарядних станцій підвищує вимоги до прогнозування потреби в електричній енергії, планування процесів заряджання та раціонального використання пропускну здатності розподільчих електричних мереж.

У зв'язку із цим актуальним є розв'язання науково-прикладної задачі підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту шляхом більш точного прогнозування витрат енергії на подолання маршруту. Обґрунтований вибір енергоефективного шляху дає змогу зменшувати потребу в заряджанні тягової акумуляторної батареї, підвищувати фактичний запас ходу та створює передумови для ефективнішого використання зарядної інфраструктури й управління електроспоживанням.

У дисертаційній роботі Халаїмова Т.О. поставлено та вирішено актуальну науково-прикладну задачу прогнозування витрат енергії акумуляторного електромобіля з урахуванням топологічного профілю маршруту, уніфікованих

режимів руху та потенціалу рекуперативного гальмування. Запропонований підхід дозволяє порівнювати альтернативні шляхи маршруту за енергетичним критерієм, оцінювати необхідний запас енергії для здійснення поїздки та обґрунтовано визначати найбільш енергоефективний варіант руху.

Окремою перевагою роботи є дослідження впливу джерела топографічної інформації та кроку дискретизації маршруту на точність розрахунків. Отримані результати дають змогу сформулювати вимоги до вхідних даних алгоритму, зменшити невизначеність прогнозування енерговитрат і забезпечити прийнятне співвідношення між точністю розрахунку та його обчислювальною складністю. Це має практичне значення для подальшого застосування запропонованого підходу в інформаційних системах планування поїздок, управління заряджанням і використання зарядної інфраструктури.

Наукова новизна дисертаційної роботи визначається такими результатами:

1. Удосконалено підхід до прогнозування витрат енергії акумуляторного електромобіля під час руху альтернативними шляхами маршруту шляхом урахування топологічного профілю, режимів руху за уніфікованим швидкісним циклом та потенціалу рекуперативного гальмування. Це забезпечує порівняльність результатів і дозволяє здійснювати ранжування альтернативних шляхів за критерієм енергетичної ефективності.

2. Виконано порівняльну оцінку впливу джерел цифрових даних про рельєф і кроку дискретизації маршруту на точність визначення механічної роботи та прогнозованих витрат енергії. На підставі отриманих результатів обґрунтовано вимоги до підготовки вхідних даних для практичної реалізації алгоритмів енергоефективної маршрутизації.

3. Експериментально підтверджено відповідність установлених теоретичних залежностей результатам фізичного моделювання на лабораторній навантажувальній установці з електричним трициклом. Застосування контрольованого навантаження та відтвореного швидкісного профілю дозволило перевірити коректність запропонованого підходу й оцінити похибки експериментального дослідження.

Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості їх використання для попереднього визначення витрат енергії на заплановану поїздку, обґрунтування необхідності проміжного заряджання, вибору енергоефективного маршруту та зменшення загального обсягу електроенергії, необхідної для експлуатації електромобіля. У разі подальшого масштабування запропонований підхід може бути застосований для планування роботи парків електричних транспортних засобів, оцінювання їх сукупної потреби в заряджанні та підтримки прийняття рішень у системах керованого електроспоживання.

Зауваження до тексту дисертації:

1. Доцільно чіткіше пояснити перехід від розрахованої механічної роботи руху та теоретичного потенціалу рекуперації до кількості електричної енергії, яку необхідно отримати від зарядної інфраструктури. Зокрема, варто узагальнено врахувати втрати в тяговому електроприводі, акумуляторній батареї та зарядному обладнанні, а також споживання допоміжних систем

електромобіля. Це дозволить точніше визначити сферу застосування отриманих результатів для прогнозування фактичного електроспоживання.

2. Бажано розширити опис можливостей практичного використання запропонованого алгоритму в системах планування заряджання електромобілів. Доцільно зазначити, яким чином прогнозовані витрати енергії на маршрут можуть бути використані для визначення необхідного обсягу заряджання, вибору часу та місця підключення до зарядної станції, а в разі використання парку електромобілів — для оцінювання сукупного навантаження на зарядну інфраструктуру та розподільчу електричну мережу.

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер, не знижують наукової та практичної цінності отриманих результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Халаїмова Т.О.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до чинних вимог до кваліфікаційних наукових праць. Сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації є обґрунтованими, а отримані результати мають практичне значення для підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту, планування процесів заряджання та подальшого розвитку інтелектуальних систем управління електроспоживанням і зарядною інфраструктурою.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами). Наукові положення, що виносяться на захист є достатньо обґрунтованими.

У обговоренні дисертаційної роботи взяли участь: завідувач кафедри електропривода Худолій С.С., який відзначив особисті якості здобувача при виконанні досліджень дисертаційної роботи, достатню кількість наукових публікацій, що стали основою дисертаційної роботи; завідувач кафедри електротехніки Бешта О.О., який акцентував увагу на обґрунтованості енергетичного балансу та коректності трактування режимів рекуперації; професор кафедри електропривода Циценков Д.В., який відзначив відповідність експериментальної частини тематичному полю електропривода та коректність постановки задачі валідації на навантажувальній установці; доцент кафедри електропривода Лисенко О.Г., яка зосередила увагу на інженерних аспектах реалізації стендових випробувань і відтворюваності режимів; доцент кафедри електропривода Бородай В.А., який звернув увагу на узгодженість параметрів моделі та припущень з експериментальними умовами; доцент кафедри електропривода Дяченко Г.Г., який відзначив наукову новизну та перспективність подальшого масштабування підходу на легкові BEV; доцент кафедри електропривода Яланський О.А., старший викладач Боровик Р.О., а також аспіранти кафедри електропривода Книш В.О., Плагунов О.М., Шихов С.К., які взяли участь у дискусії, поставили уточнювальні запитання щодо структури моделі, експериментальної методики та областей практичного застосування отриманих результатів.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Халаїмова Тараса Олександровича на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Обґрунтування вибору теми дослідження.

У сучасних умовах зростання вартості енергоносіїв, посилення вимог до енергоефективності та декарбонізації, а також на тлі підвищення ролі електроенергії як універсального енергетичного ресурсу, актуалізується задача зменшення енерговитрат транспортного сектору. Перехід від транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння до акумуляторного електромобільного транспорту розглядається як один із ключових інструментів зниження локальних викидів і залежності від викопного палива. Водночас практична ефективність використання BEV суттєво обмежується запасом ходу та умовами заряджання, які залежать не лише від ємності акумуляторної батареї, а й від сукупності експлуатаційних факторів руху.

Аналіз сучасних науково-прикладних підходів показує, що енергоспоживання електромобіля визначається поздовжньою механікою руху та енергетичним балансом силового тракту. До найвпливовіших факторів належать опір коченню, аеродинамічний опір, інерційні складові режимів розгону й гальмування, а також топологічний профіль маршруту, який визначає складову поздовжнього балансу сил, пов'язану з ухилом дорожнього полотна, та впливає на можливість рекуперації енергії під час руху вниз. На практиці існуючі системи маршрутного планування орієнтуються переважно на критерії часу або відстані та, як правило, не забезпечують повною мірою фізично обґрунтованого врахування топології, а також чутливі до якості джерел топографічних даних і частоти дискретизації профілю маршруту. Це призводить до систематичних похибок прогнозування енерговитрат і запасу ходу, особливо на ділянках зі змінним рельєфом і локальними перепадами висот.

Для України актуальність проблеми додатково підсилюється обмеженнями електропостачання та нерівномірністю доступності зарядної інфраструктури в умовах воєнного стану. У таких умовах підвищення енергоефективності поїздок за рахунок обґрунтованого вибору маршруту є практично значущим, оскільки дозволяє зменшити частоту заряджання, знизити навантаження на електромережу та підвищити надійність транспортної мобільності. Одночасно зменшення енерговитрат і кількості зарядних циклів є фактором подовження ресурсу акумуляторної батареї, що набуває особливої ваги з огляду на зростання сегмента вживаних електромобілів.

Таким чином, обґрунтованим є вибір теми дисертаційного дослідження, спрямованої на підвищення енергоефективності електромобільного транспорту шляхом урахування топології маршруту, оцінювання механічної роботи руху та

потенціалу рекуперації на основі уніфікованих швидкісних профілів, а також встановлення впливу джерел топографічних даних і кроку дискретизації на точність прогнозування. Розв'язання зазначеної задачі створює науково-методичні передумови для впровадження сервісів енергоефективної маршрутизації та підвищення практичної результативності використання BEV у різних умовах експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими планами програмами, темами.

Теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи отримано під час виконання науково-дослідних робіт і проєктів, що реалізовувалися у 2022–2026 роках у лабораторіях кафедри електропривода та кафедри електротехніки НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро, Україна). Зокрема, здобувач був виконавцем двостороннього науково-дослідного проєкту «Model Predictive Dynamic Energy Efficient Control in Rotating Field Machines» (травень 2024 – грудень 2025), що фінансувався Міністерством освіти і науки України за рахунок коштів державного бюджету (№ держреєстрації 0124U003745), у межах якого виконувалися дослідження з підвищення енергоефективності електромеханічних систем і методів енергоощадного керування. Окремі компоненти експериментальної та методичної бази дисертаційного дослідження були сформовані та апробовані під час участі у міжнародному проєкті DAAD «LAB4All – Open Access Cyber-Physical Laboratories for Ukrainian Universities» (січень 2024 – серпень 2024), що виконувався у партнерстві Dnipro University of Technology (Україна) та Reutlingen University (Німеччина) у межах програми «Supporting the Internationalization of Ukrainian Universities», і був спрямований на розвиток кіберфізичних лабораторій та віддалених експериментальних стендів. Подальший розвиток і практичне спрямування досліджень узгоджується з тематикою держбюджетної НДР «Models and means of improving the energy efficiency and reliability of microgrid systems in the context of Industry 4.0 and GreenTech concepts» (січень 2026 – грудень 2028), що фінансується Міністерством освіти і науки України за рахунок коштів державного бюджету (№ держреєстрації 0126U001138), у межах якої результати дисертації можуть бути використані для задач енергоефективного планування режимів споживання та підвищення надійності енергетичних систем.

Метою роботи є визначення впливу фактору топології маршруту на витрати енергії електромобілів під час руху та підвищенні їх енергоефективності за рахунок вибору найбільш енергоефективного шляху руху.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі сформульовано і виконано наступні **задачі досліджень**:

1. Проаналізувати сучасний стан електромобільного транспорту та науково-прикладних підходів до оцінювання та прогнозування енергоспоживання; систематизувати зовнішні та внутрішні фактори, що визначають витрати енергії під час руху, та обґрунтувати прийняті припущення щодо ККД силового агрегату електромобіля.

2. Визначити ступінь впливу фактору топології маршруту та інших найбільш вагомих факторів на витрати енергії електромобіля під час руху й обґрунтувати доцільність їх урахування, сформулювавши вимоги до математичної моделі та вхідних даних.

3. Розробити алгоритм прогнозування витрат електричної енергії уздовж альтернативних шляхів маршруту з урахуванням топології та потенціалу рекуперативного гальмування, що забезпечує вибір найбільш енергоефективного шляху.

4. Дослідити вплив джерел топологічних даних та кроку їх дискретизації на точність прогнозування витрат енергії.

5. Експериментально підтвердити адекватність отриманих математичних залежностей, оцінити вплив фактору топології маршруту на витрати енергії руху та визначити області застосування моделі за прийнятих припущень.

6. Виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання прогнозу моделі для визначення найбільш енергоефективного маршруту руху для приватного користувача та автопарку електромобілів.

Об'єкт дослідження – процеси енерговитрат електричних транспортних засобів під час руху в різних експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження – методи та моделі прогнозування витрат енергії електричного транспортного засобу з урахуванням топологічного профілю маршруту, режимів руху та потенціалу рекуперації.

Ідея роботи – підвищення енергоефективності акумуляторного електромобільного транспорту шляхом прогнозування та порівняльного ранжування альтернативних маршрутів за питомими витратами енергії з урахуванням топологічного профілю (ухилів), режимів руху за WLTP та потенціалу рекуперативного гальмування, що дозволяє обґрунтовано обирати найбільш енергоефективний шлях і, як наслідок, збільшувати запас ходу та зменшувати потребу в заряджанні.

Наукова задача полягає у встановленні закономірностей впливу топологічного профілю маршруту на питомі витрати енергії руху Battery Electric Vehicle (BEV) за уніфікованого режиму руху та з урахуванням потенціалу рекуперації, а також у розробленні й експериментальній валідації розрахункового методу, що забезпечує ранжування альтернативних маршрутів за енергоефективністю та обґрунтований вибір найбільш енергоефективного маршруту.

Методи дослідження. Для досягнення мети використано системний аналіз і критичний огляд джерел для визначення впливу факторів на енергоспоживання електромобіля та постановки наукового завдання; методи математичного моделювання для отримання розрахункових залежностей витрат енергії руху з урахуванням топологічного профілю маршруту, опору кочення та режимів руху; чисельні методи й комп'ютерне моделювання з використанням прикладних програм MATLAB та EXCEL. Для реалізації розрахункових процедур і порівняння сценаріїв при різних джерелах топологічних даних та дискретизації маршруту; експериментальні методи для валідації моделі за даними швидкості, струму та напруги; методи статистичної обробки для

оцінювання похибок і відтворюваності результатів. Вибір методів обґрунтовано необхідністю забезпечення достовірності висновків шляхом порівняння розрахункових і експериментальних даних.

Наукові результати

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.

Практична цінність роботи полягає у:

1. Розробці та апробації методики прогнозування витрат енергії електромобіля вздовж альтернативних маршрутів шляхом урахування топологічного профілю, уніфікованих швидкісних циклів WLTP/WLTC та потенціалу рекуперативного гальмування, що забезпечує співставну оцінку енерговитрат і обґрунтований вибір найбільш енергоефективного маршруту;

2. Розробці алгоритмічного підходу до ранжування альтернативних шляхів за критерієм питомих витрат енергії з можливістю практичної інтеграції у програмні модулі прогнозування енерговитрат для одного електромобіля або автопарку;

3. Створенні та використанні лабораторної експериментальної бази для відтворення режимів руху за WLTC і імітації топологічного навантаження шляхом формування еквівалентного моменту опору, що забезпечує експериментальну перевірку розрахункових залежностей;

4. Експериментальному визначенні параметрів, критичних для точності прогнозу, що може бути використано для калібрування параметрів моделі під конкретну електромобільну платформу;

5. Обґрунтуванні можливості масштабування запропонованих підходів на BEV шляхом калібрування параметрів моделі, що підвищує обґрунтованість прогнозування енерговитрат, потенціалу рекуперації та запасу ходу при виборі маршруту;

6. Використанні результатів роботи під час створення сервісів енергоефективної маршрутизації та систем керування автопарками з перспективою інтеграції у навігаційні та картографічні сервіси;

7. Використанні матеріалів роботи при підготовці фахівців у сфері електроенергетики.

Особистий внесок здобувача. Включає проведення теоретичних і експериментальних досліджень, представлених у дисертаційній роботі. Це

охоплює формулювання постановки задачі та обґрунтування методології, розроблення математичної моделі й алгоритму прогнозування енерговитрат з урахуванням топології маршруту та рекуперації, виконання розрахунків і чисельних експериментів, а також проектування, виготовлення та випробування експериментальної стендової бази (трицикл і навантажувальна установка). Аналіз, інтерпретацію та узагальнення результатів, формулювання висновків і підготовку тексту дисертації здобувач виконав самостійно.

Публікації. Усього за результатами дисертаційних досліджень опубліковано 15 наукових праць, з яких 3 статті індексуються у Scopus, 1 стаття опублікована у фаховому виданні (категорії Б), а 11 праць апробаційного характеру оприлюднено в матеріалах наукових конференцій.

Статті в наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. 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>.

Наукові праці у виданнях іноземних держав або виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

2. O. Beshta, D. Cichoń, O. Beshta Jr., T. Khalaimov, and E. S. 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>.

3. 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, doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/104>.

4. 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>.

Матеріали наукових конференцій:

5. 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.

6. 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, doi: <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402470>.

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 акумулювання 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.pdf>.

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. URL: https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/naukova-vesna-2026/Scientific_Spring_2026.pdf.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел (174). Загальний обсяг дисертації – 247 сторінок, у тому числі 76 рисунків та 47 таблиць.

Характеристика особистості здобувача.

У лютому 2022р. – здобув ступінь магістра зі спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у НТУ «Дніпровська політехніка».

Під час навчання приймав участь у наукових та спортивних заходах.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Відповідно до п.15 Порядку присудження ступеня доктора філософії затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, пропонується такий склад разової ради:

Голова ради: доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», **Папаїка Юрій Анатолійович.**

Рецензенти:

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

2. Луценко Іван Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри електроенергетики, Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Офіційні опоненти:

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

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».

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Халаїмова Т.О. на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Халаїмова Тараса Олександровича відповідає спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію Халаїмова Т.О. на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електромобільного транспорту з урахуванням фактору топології маршруту» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

4. Рекомендувати Вченій раді Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради: доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Папаїка Юрій Анатолійович.

Рецензенти:

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

2. **Луценко Іван Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри електроенергетики, Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Офіційні опоненти:

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

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».

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Халаїмова Т.О:

«За» – 25

«Проти» – немає

«Утримались» – немає

Презентація Халаїмова Т.О. на 44 стор. додається.

Головуючий на засіданні
завідувач кафедри
електропривода, професор

Секретар засідання
старший викладач




Сергій ХУДОЛІЙ

Роман БОРОВИК