

STUDIAREA ȘI CERCETAREA AUTOVEHICULELOR HIBRIDE ȘI IMPACTUL ACESTORA ASUPRA MEDIULUI AMBIANT

Masterand:

Paniș Vladislav

Conducător:

conf. univ., dr. Beșleagă Igor

Chișinău – 2025

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova

Universitatea Tehnică a Moldovei

Programul de masterat „Siguranța și ecologizarea transportului rutier”

Admis la susținere

Șef DT: conf. univ. dr. V. Ceban

„_____” _____ 2025

**STUDIAREA ȘI CERCETAREA
AUTOVEHICULELOR HIBRIDE ȘI IMPACTUL
ACESTORA ASUPRA MEDIULUI AMBIANT**

Teză de master

Masterand: _____ (Paniș Vladislav)

Conducător: _____ (Beșleagă Igor)

Chișinău – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

РЕЗУМАТ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1.1 Глобальный контекст.....	11
1.1.2 Экологическая значимость гибридных автомобилей.....	11
1.1.3 Законодательные инициативы.....	12
1.1.4 Актуальность исследования для Молдовы.....	12
1.1.5 Научная и практическая значимость исследования.....	13
1.2 ТИПЫ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ЗАРЯЖАЕМОЙ БАТАРЕЕЙ.....	13
1.3 НЕV – ГИБРИДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ.....	14
1.4 РНЕV – ПОДКЛЮЧАЕМЫЙ ГИБРИДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ.....	18
1.5 ТИПЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.....	23
1.5.1 Никель-металлогидридные аккумуляторы.....	23
1.5.2 Литий-ионные аккумуляторы.....	26
1.5.3 Суперконденсаторы.....	27
1.5.4 Утилизация батарей.....	31
1.6 ЭКОЛОГИЯ И ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО.....	33
1.6.1 Налоги на покупку и владение автомобилем.....	39
1.6.2 Субсидии для экологичных автомобилей.....	40
1.6.3 Зоны низких выбросов.....	42
2. ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	43
2.1. АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА (LCA – LIFE CYCLE ASSESSMENT).....	43
2.2 МЕТОД АНАЛИЗА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА (CARBON FOOTPRINT ANALYSIS).....	45
2.3 МЕТОД АНАЛИЗА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ (ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS).....	46
2.4. МЕТОД АНАЛИЗА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (POLLUTANT EMISSION ANALYSIS).....	48
2.5. МЕТОД ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БАТАРЕЙ (BATTERY SUSTAINABILITY ASSESSMENT.....	50
2.6 НАЦИОНАЛЬНАЯ СТРАТЕГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА.....	52

2.6.1	Транспорт и его влияние на окружающую среду.....	52
2.6.2	Основные инициативы в транспортном секторе.....	53
2.6.3	Энергетика: переход к устойчивым источникам.....	54
2.6.4	Международный контекст и сотрудничество.....	54
3.	ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	56
3.1	Оценка жизненного цикла подключаемых гибридных электромобилей с учетом различных условий эксплуатации автомобиля и сценариев деградации аккумулятора.....	56
3.1.1	Общий подход и цели.....	56
3.1.2	Ключевые результаты по стадиям жизненного цикла.....	57
3.2	Сравнительный анализ жизненного цикла гибридных и традиционных транспортных средств в различных условиях вождения.....	62
3.2.1	Общий подход и цели.....	62
3.2.2	Ключевые результаты по стадиям жизненного цикла.....	63
3.2.3	Сценарии эксплуатации и чувствительность.....	66
3.2.4	Основные выводы и практические рекомендации.....	66
3.3	Исследование энергопотребления гибридного автомобиля в реальных условиях.....	67
	ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	74
	БИБЛИОГРАФИЯ.....	76
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	79

REZUMAT

Problematica

Încălzirea globală și situația ecologică tot mai gravă impun necesitatea găsirii unor soluții eficiente pentru reducerea emisiilor din sectorul transporturilor, responsabil pentru aproximativ 14% din emisiile de gaze cu efect de seră. Automobilele hibride (HEV și PHEV), care combină motorul cu ardere internă și propulsia electrică, sunt considerate o etapă intermediară în tranziția completă la transportul electric, mai ales în condițiile unei infrastructuri slab dezvoltate de stații de încărcare.

Scopul

Determinarea beneficiilor ecologice ale automobilelor hibride și evaluarea capacității acestora de a reduce emisiile de CO₂, NO_x, particule solide și compuși organici volatili pe parcursul întregului ciclu de viață, inclusiv producția, exploatarea și reciclarea.

Metodologia

Cercetarea se bazează pe rezultatele a trei studii majore. În primul studiu a fost analizat consumul real de energie și combustibil al unui hibrid plug-in Mercedes-Benz A 250e în diverse condiții de drum și temperatură. Al doilea studiu, utilizând metoda LCA (Life Cycle Assessment) și software-ul GaBi, a evaluat impactul asupra mediului al automobilelor hibride, electrice și convenționale, precum și evoluția tehnologiilor până în anul 2035. Al treilea studiu, aplicând programul GREET, a comparat ciclurile de viață complete ale automobilelor convenționale și hibride în regimuri de condus urban, interurban și mixt.

Rezultatele

Automobilele hibride demonstrează o reducere a emisiilor totale de CO₂ cu 20–40% comparativ cu mașinile convenționale, cel mai mare efect fiind observat în traficul urban și cu încărcări regulate ale bateriilor. Totuși, eficiența hibridei depinde de condițiile de temperatură, lungimea călătoriilor, structura surselor de energie și degradarea bateriei.

Concluzii

Modelele hibride contribuie la reducerea amprentei de carbon și a poluării locale, acționând ca un „pod de tranziție” către mobilitatea ecologică. Implementarea pe scară largă a acestora necesită dezvoltarea infrastructurii de încărcare, îmbunătățirea tehnologiei bateriilor și „ecologizarea” sectorului energetic. Datele obținute pot servi drept bază pentru luarea deciziilor de către autorități, producători auto și consumatori preocupați de reducerea impactului ecologic.

ABSTRACT

Problem Statement

Global warming and the worsening ecological situation necessitate the search for effective ways to reduce emissions from the transport sector, which accounts for approximately 14% of greenhouse gases. Hybrid vehicles (HEV and PHEV), combining an internal combustion engine and electric drive, are seen as an intermediate step towards the full transition to electric transportation, especially in regions with underdeveloped charging infrastructure.

Objective

To determine the extent of the environmental benefits of hybrid vehicles and evaluate their potential to reduce CO₂, NO_x, particulate matter, and volatile organic compound emissions throughout their entire lifecycle, including production, operation, and disposal.

Methodology

The research is based on the findings of three major studies. The first analyzed the real-world energy and fuel consumption of the Mercedes-Benz A 250e plug-in hybrid under various driving and temperature conditions. The second employed Life Cycle Assessment (LCA) using the GaBi software suite to assess the environmental impact of hybrid, electric, and traditional vehicles, while also forecasting technological developments up to 2035. The third study used the GREET software to compare the full life cycles of conventional and hybrid vehicles in urban, rural, and combined driving modes.

Results

Hybrid vehicles demonstrate a reduction in total CO₂ emissions by 20–40% compared to conventional cars, with the most significant effect observed in urban traffic and under regular charging conditions. However, the efficiency of hybrids depends on temperature conditions, trip lengths, energy supply structure, and battery degradation.

Conclusions

Hybrid models help reduce the carbon footprint and local pollution, serving as a "transitional bridge" to clean mobility. Their widespread adoption requires the development of charging infrastructure, further improvement of battery technology, and the "greening" of the energy sector. The obtained data can serve as a basis for decision-making by authorities, automakers, and consumers striving to mitigate environmental damage.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях ускоряющегося изменения климата и нарастающего экологического кризиса одним из наиболее острых вопросов современности остаётся снижение негативного влияния автотранспорта на окружающую среду. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, транспортный сектор отвечает за существенную долю глобальных выбросов парниковых газов, что ставит перед мировым сообществом задачу разработки более экологичных транспортных средств. Наиболее перспективным направлением в этом контексте представляются гибридные автомобили, объединяющие двигатель внутреннего сгорания и электрическую силовую установку. Однако реальная эффективность таких решений в снижении выбросов вредных веществ и парниковых газов требует глубокого и комплексного исследования с учётом различных факторов — от конкретной конструкции автомобиля и особенностей применяемых аккумуляторных батарей до технологического уровня инфраструктуры, степени «чистоты» энергобаланса и повседневных режимов эксплуатации.

Актуальность темы объясняется как глобальным контекстом (повышение среднегодовых температур, стремление ведущих экономик мира снизить выбросы CO₂), так и локальными условиями, в частности для Республики Молдова. Здесь проблема загрязнения воздуха транспортом также стоит остро, что побудило власти принять ряд законодательных инициатив, направленных на стимулирование использования более экологичных автомобилей. Несмотря на это, отсутствие развитой зарядной инфраструктуры ограничивает распространение электромобилей, а гибридные модели могут выступать наиболее реалистичным решением для переходного этапа. Научная новизна настоящей работы заключается в систематическом рассмотрении различных типов гибридных технологий, анализе полного жизненного цикла (от добычи сырья до утилизации) и учёте динамики развития аккумуляторных систем. Практическая значимость состоит в формулировании рекомендаций для государственных органов, производителей и потребителей относительно возможных путей сокращения выбросов в транспортном секторе.

В исследовании применяются такие методы, как анализ жизненного цикла (LCA), анализ углеродного следа, анализ энергопотребления и оценка выбросов загрязняющих веществ. Кроме того, отдельное внимание уделяется оценке устойчивости батарей на различных этапах их эксплуатации, а также мониторингу соответствия национальной стратегии экологической безопасности Республики Молдова в части развития экологически чистого транспорта.

Работа структурирована следующим образом.

- **В первом разделе (Обзор литературы)** рассматривается глобальный контекст развития гибридных технологий, приводятся основные законодательные инициативы и анализируются типы гибридных автомобилей, включая особенности применяемых аккумуляторных батарей и вопросы их утилизации. Также обсуждается актуальность исследования для Молдовы и научно-практическая значимость темы.

- **Во втором разделе (Программа и методы исследования)** детально описываются используемые методологии: анализ жизненного цикла, оценка углеродного следа, анализ энергопотребления и загрязняющих веществ, а также методы определения устойчивости батарей. Здесь же проанализированы основные направления национальной стратегии экологической безопасности Республики Молдова в контексте транспорта и энергетики.

- **В третьем разделе (Исследования и их результаты)** приводится оценка жизненного цикла подключаемых гибридных автомобилей (с учётом различных условий эксплуатации и сценариев деградации аккумулятора), сравнительный анализ гибридных и традиционных транспортных средств, а также исследование энергопотребления гибридного автомобиля в реальных дорожных условиях. На основе полученных данных формулируются выводы и практические рекомендации по дальнейшему совершенствованию гибридных технологий и снижению экологического воздействия автотранспорта.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Отчет аудита окружающей среды относительно качества воздуха в Республике Молдова. Приложение к Постановлению Счетной палаты № 65 от 30 ноября 2017 года.
2. Статистический ежегодник Республика Молдова 2023.
3. Двигатель электромобиля, гибридного автомобиля
<https://pro-sensys.com/info/articles/obzornye-stati/dvigatel-elektromobilya/>
4. How do Hybrid Electric Cars work?
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>
5. How do Plug-In Hybrid Electric Cars work?
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>
6. Batteries for electric vehicles
https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html
7. From Lead-Acid to Lithium
<https://www.roadandtrack.com/car-culture/a45597186/history-of-automotive-batteries/>
8. Какой тип батарей используется в гибридных автомобилях
<https://www.okacc.com/ru/какой-тип-аккумулятора-используется/>
9. The Social and Environmental Impact of Hybrid Cars
https://www.researchgate.net/publication/343463711_The_Social_and_Environmental_Impact_of_Hybrid_Cars
10. Emissions from Electric Vehicles
https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html
11. Effect of Battery-Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles on PM2.5 Emissions in 29 European Countries
<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/4/2188>
12. Влияние гибридных автомобилей на социум и окружающую среду.
<https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/69993/1/TDI030306f.pdf>
13. Суперконденсаторы: что это, зачем и где применяется
<https://habr.com/ru/articles/547310/>
14. Применение суперконденсаторов в гибридных автомобилях.
<https://motocarrello.ru/jelektrotehnologii/1275-superkondensatorov.html>
15. Электрические и гибридные автомобили становятся все более популярными в Молдове
<https://point.md/ru/novosti/obschestvo/elektricheskie-i-gibridnye-avtomobili-stanoviatsia-vse-bole-populiarnymi-v-moldove/>

16. Numărul mașinilor electrice înmatriculate în Republica Moldova s-a dublat timp de un an
<https://newsmaker.md/ro/numarul-masinilor-electrice-si-de-tip-hibrid-inmatriculate-in-moldova-s-a-dublat-timp-de-un-an/>
17. Life Cycle Assessment (LCA) explained
<https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/>
18. Carbon Footprint
<https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/carbon-footprint/>
19. Carbon Footprint: Definition and Calculation Method
<https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/carbon-footprint-definition-and-calculation-method>
20. Испытания электромобилей в реальных условиях.
<https://dewesoft.com/ru/blog/electric-vehicle-real-drive-tests>
21. Vehicle emissions and efficiency.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/vehicle-emissions-and-efficiency-1>
22. Bulut, M.S.; Ordu, M.; Der, O.; Basar, G. Sustainable Thermoplastic Material Selection for Hybrid Vehicle Battery Packs in the Automotive Industry: A Comparative Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Polymers* 2024, 16, 2768. <https://doi.org/10.3390/polym16192768>
23. Bekel, K., Pauliuk, S. Prospective cost and environmental impact assessment of battery and fuel cell electric vehicles in Germany. *Int J Life Cycle Assess* 24, 2220–2237 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01640-8>
24. Biroul national de statistica.
<https://statistica.gov.md>
25. Zhang Y, Cao Z, Zhang C, Chen Y. Life Cycle Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Considering Different Vehicle Working Conditions and Battery Degradation Scenarios. *Energies*. 2024; 17(17):4283. <https://doi.org/10.3390/en17174283>
26. Szumska, Emilia. (2021). Comparative Life Cycle Analysis of Hybrid and Conventional Drive Vehicles in Various Driving Conditions. *Komunikacie*. 23. 10.26552/com.C.2021.4.D34-D41.
27. Mamala, Jarosław & Graba, Mariusz & Bieniek, Andrzej & Prażnowski, Krzysztof & Augustynowicz, Andrzej & Smieja, Michael. (2021). Study of energy consumption of a hybrid vehicle in real-world conditions. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. 23. 636-645. 10.17531/ein.2021.4.6.
28. PLĂMĂDEALĂ, V.; POROSEATCOVSCHI, V., Problemele principale a ecologiei transportului auto și căile de soluționare a lor în Republica Moldova. *Conferința Științifică Internațională*

- „Transport: economie, inginerie și management”. Chișinău, 16-17 octombrie 2009, UTM, p. 235-237. ISBN 978-9975-45-123-9.
29. *Organizarea și siguranța circulației rutiere*: Curs universitar: [în vol.] / Vladimir Goian, Vasile Plămădeală, Ilie Beiu; UTM, FIMIT, Departamentul Transporturi. Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. ISBN 978-9975-45-721-7. Vol. 1: Acte normative, elemente de siguranță și caracteristici ale circulației rutiere. – 2021. – 341 p. ISBN 978-9975-45-722-4 (PDF).
30. Lacusta I., Beșleagă Ig., Banari E. Impactul ecologic la utilizarea biocombustibilului pentru alimentarea motoarelor diesel. În: *Mediul Ambient*. Chișinău 2009, nr. 5 (47), p. 20-23, 0,18 c.a. ISSN 1810-9551.
31. *Organizarea și siguranța circulației rutiere*: Curs universitar: [în vol.] / Vasile Plămădeală, Vladimir Goian, Ilie Beiu; UTM, FIMIT, Departamentul Transporturi. Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – ISBN 978-9975-45-721-7. Vol. 2: Siguranța automobilelor: activă, pasivă, post-crash și ecologică. – 2021. – 435 p. ISBN 978-9975-45-723-1 (PDF).
32. BRÎNZAN, G., PLĂMĂDEALĂ, V., Система рекуперации кинетической энергии. *Materialele conferinței naționale științifico – practice „Transporturi: inginerie, economie și management”*. Chișinău, 22-23 mai 2015, UTM, p. 209 – 211. ISBN 978-9975-45-380-6.
33. GOIAN, Vladimir, PLĂMĂDEALĂ, Vasile. *Mentenanța mijloacelor de transport*: Curs universitar. Vol.1 Fac. Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, Dep. Transporturi: Tehnica UTM, 2023, 439 p. ISBN 978-9975-45-942-6. ISBN 978-9975-45-943-3 (PDF).
34. Lăcustă I., Beșleagă Ig. Studiul utilizării biocombustibilului asupra emisiilor poluante. În: *Transport: economie, inginerie și management: materialele conferinței științifico- practică cu participare internațională*, Chișinău 2013, p. 197-201, 0,25 c.a. ISBN 978-9975-45-273-1.
35. GOIAN, Vladimir, PLĂMĂDEALĂ, Vasile. *Mentenanța mijloacelor de transport*: Curs universitar. Vol. 2 Fac. Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, Dep. Transporturi: Tehnica UTM, 2023, 455 p. ISBN 978-9975-45-942-6. ISBN 978-9975-45-944-0 (PDF).
36. Lacusta I., Beșleagă Ig. Impactul utilizării biocombustibilului asupra emisiilor poluante. În: *Știința agricolă*. Chișinău 2007, nr. 2, p. 13-15, 0,29 c.a. ISSN 1857-0003.