

**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Facultatea Electronică și Telecomunicații**  
**Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**  
**Programa de studii: Inginerie și Management în Telecomunicații**

**Admis la susținere**  
**Șef de departament:**  
**Valentina Tîrșu dr., conf.univ.**

-----  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024

## **TEMA TEZEI DE LICENȚĂ**

**Cercetarea și îmbunătățirea eficienței sistemului de  
încărcare a bateriei automobilelor electrice la  
temperaturi scăzute**

**Student:** Axinoi Gabriel TST-202  
**Coordonator:** Mirovski Vladimir asist. univ.

**Chișinău, 2024**

## АННОТАЦИЯ

Автор: Аксыной Габриел, Технический университет Молдовы, группа TST-202

**Название дипломного проекта:** Исследование и улучшение эффективности системы заряда батареи электромобиля при низких температурах

**Ключевые слова:** электромобиль, аккумулятор, литий-ионная, зарядка, низкая температура

**Цель работы:** Улучшение эффективности системы заряда батареи электромобиля при низких температурах для обеспечения надежности и долговечности аккумуляторов в зимних условиях.

### **Общие задачи:**

1. Исследование типов батарей для электромобилей и влияние на них низких температур.
2. Анализ методов подогрева батарей для электромобилей.
3. Разработка мер для повышения эффективности заряда при низких температурах.

Методы, примененные при разработке проекта:

- Анализ современных аккумуляторных батарей для электромобилей.
- Исследование основных свойств и характеристик литий-ионных батарей.
- Оценка влияния низкой температуры на аккумуляторы.
- Разработка методов устранения проблем, вызванных низкими температурами.

Конкретные полученные результаты:

- Представлено современное состояние аккумуляторных батарей для электромобилей.
- Проведен подробный анализ основных свойств и характеристик литий-ионных батарей.
- Установлены причины деградации аккумуляторов из-за низких температур и предложены пути устранения этих проблем.
- Разработаны меры для повышения эффективности заряда батарей при низких температурах.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и библиографии. В ней содержится 62 страницы основного текста, 22 рисунка, 10 таблиц, 1 диаграмма, 22 формулы и 22 источника информации.

## ADNOTARE

Autor: Axînoi Gabriel, Universitatea Tehnică a Moldovei, grupa TST-202

**Titlul tezei:** Investigarea și îmbunătățirea eficienței încărcării bateriei vehiculului electric la temperaturi scăzute

**Cuvinte-cheie:** vehicul electric, baterie, litiu-ion, încărcare, temperatură scăzută

**Obiectiv:** Îmbunătățirea eficienței sistemului de încărcare a bateriei vehiculului electric la temperaturi scăzute pentru a asigura fiabilitatea și durabilitatea bateriilor în condiții de iarnă.

### Scopul lucrării:

1. Investigarea tipurilor de baterii pentru vehicule electrice și impactul temperaturilor scăzute asupra acestora.

2. Analiza metodelor de încălzire a bateriilor în vehiculele electrice.

3. Dezvoltarea măsurilor pentru îmbunătățirea eficienței încărcării la temperaturi scăzute.

Metode aplicate în dezvoltarea proiectului:

- Analiza sistemelor moderne de baterii pentru vehicule electrice.
- Studiul proprietăților și caracteristicilor principale ale bateriilor litiu-ion.
- Evaluarea impactului temperaturilor scăzute asupra bateriilor.
- Dezvoltarea metodelor de eliminare a problemelor cauzate de temperaturile scăzute.

Rezultate specifice obținute:

- A fost prezentată starea actuală a sistemelor de baterii pentru vehicule electrice.
- A fost realizată o analiză detaliată a proprietăților și caracteristicilor principale ale bateriilor litiu-ion.
- Au fost identificate cauzele degradării bateriilor din cauza temperaturilor scăzute și au fost propuse soluții pentru aceste probleme.
- Au fost dezvoltate măsuri pentru îmbunătățirea eficienței încărcării bateriilor la temperaturi scăzute.

Lucrarea constă dintr-o introducere, trei capitole, o concluzie și o bibliografie. Aceasta conține 62 de pagini de text principal, 22 de figuri, 10 tabele, 1 diagramă, 22 de formule și 22 de surse de informații.

## ANNOTATION

Author: Aksynoy Gabriel, Technical University of Moldova, group TST-202

**Thesis Title:** Investigation and Improvement of Electric Vehicle Battery Charging Efficiency at Low Temperatures

**Keywords:** electric vehicle, battery, lithium-ion, charging, low temperature

**Objective:** To improve the efficiency of the electric vehicle battery charging system at low temperatures to ensure the reliability and longevity of batteries in winter conditions.

### **General Tasks:**

1. Investigate types of batteries for electric vehicles and the impact of low temperatures on them.
2. Analyze methods for heating batteries in electric vehicles.
3. Develop measures to improve charging efficiency at low temperatures.

### **Methods Applied in Project Development:**

- Analysis of modern battery systems for electric vehicles.
- Study of the main properties and characteristics of lithium-ion batteries.
- Assessment of the impact of low temperatures on batteries.
- Development of methods to eliminate problems caused by low temperatures.

### **Specific Results Obtained:**

- The current state of battery systems for electric vehicles is presented.
- A detailed analysis of the main properties and characteristics of lithium-ion batteries was conducted.
- Causes of battery degradation due to low temperatures were identified, and solutions to these problems were proposed.
- Measures to improve the charging efficiency of batteries at low temperatures were developed.

The work consists of an introduction, three chapters, a conclusion, and a bibliography. It contains 62 pages of main text, 22 figures, 10 tables, 1 diagram, 22 formulas, and 22 references.



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР</b> .....	12
1.1 Типы батарей для электромобилей.....	12
1.2 Воздействие низких температур на производительность батарей.....	18
1.3 Разбор химических и физических процессов, происходящих в батареях при низких температурах.....	23
1.4 Оценка влияния температуры на емкость и долговечность батарей.....	25
<b>2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДОГРЕВА БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ</b> .....	30
2.1 Характеристики используемого тестового оборудования для проверки теплового состояния аккумулятора.....	30
2.2 Анализ подогрева батареи на Nissan Leaf.....	36
2.3 Сравнение с существующими методами.....	38
<b>3 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ</b> .....	46
3.1 Определение ключевых проблем эффективности заряда при низких температурах.....	46
3.2 Разработка улучшений системы заряда, ориентированных на борьбу с выявленными проблемами.....	47
<b>4. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО УЛУЧШЕНИЯ БАТАРЕИ</b> .....	52
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	57
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b> .....	60

					<b>UTM 071.1 001 ME</b>			
<b>Mod.</b>	<b>Coala</b>	<b>Nr. document</b>	<b>Semnăt.</b>	<b>Data</b>	<b>Cercetarea și îmbunătățirea eficienței sistemului de încărcare a bateriei automobilelor electrice la temperaturi scăzute</b>	<b>Litera</b>	<b>Coala</b>	<b>Coli</b>
Elaborat	Axinoi G.						9	55
Conducător	Mirovski V.							
Consultant	Mirovski V.							
Contr. norm.	Tîrșu.V							
Aprobat						UTM FET TST - 202		

## ВВЕДЕНИЕ

Экологическая политика стран по всему миру способствует неуклонному распространению электромобилей даже при низких ценах на нефть. Несмотря на снижение экономических выгод из-за падения цен на нефть, недостаточной инфраструктуры для зарядки и длительного времени зарядки, ожидается продолжение роста рынка электромобилей. Большая часть поставок электромобилей осуществляется в США, Европу и Китай, что составляет почти 84% от всего объема поставок. Электромобили повышают энергоэффективность и не требуют прямого сжигания топлива, что способствует достижению различных целей, связанных с транспортом, в частности повышению энергетической безопасности.

Актуальность темы проектирования и улучшения системы заряда батареи электромобиля при низких температурах обусловлена необходимостью обеспечения надежности и долговечности аккумуляторов в зимних условиях. Литий-ионный аккумулятор считается наиболее предпочтительным источником энергии для электромобилей, однако его плотность энергии не высока, и существуют значительные возможности для совершенствования конструкций аккумуляторных батарей и систем электромобилей.

Цель работы: Улучшение эффективности системы заряда батареи электромобиля при низких температурах для обеспечения надежности и долговечности аккумуляторов в зимних условиях.

Общие задачи:

1. Изучение проблем, связанных с функционированием и процессами зарядки/разрядки аккумуляторов для электромобилей при низких температурах.
2. Определение возможностей повышения эффективности заряда батарей и увеличения их долговечности при низкой температуре.

Сформулированные задачи:

1. Анализ основных проблем литий-ионных аккумуляторных батарей.
2. Определение причин деградации аккумуляторов.
3. Исследование влияния низких температур на производительность аккумуляторов.
4. Определение ключевых проблем для заряда при низких температурах.

Научная новизна работы:

- Рассмотрены проблемы сохранения работоспособности литиевых батарей во время зимнего периода и использование подогрева.

					UTM 071.1 001 ME	Coala
						10
Mod	Coala	Nr. document	Semnăt.	Data		

- Проведена сравнительная оценка тестирования литий-ионного аккумулятора с помощью специальной программы и специализированных приборов.

Объект исследования: Перспективные типы батарей для электромобилей.

Методы исследования:

- Теоретические (классификация, синтез, анализ).

- Наблюдение и сравнение для детального изучения аккумуляторных батарей, их элементов.

- Анализ свойств и характеристик литиевых аккумуляторов.

- Обобщение.

Практическая значимость: Разработка теоретических рекомендаций по повышению эффективности системы заряда в условиях низкой температуры.

Структура работы:

- В первой главе рассмотрены типы аккумуляторных батарей для электромобилей, влияние на их производительность низких температур, химические и физические процессы, происходящие внутри батареи в криогенных условиях.

- Во второй главе дана характеристика тестовому оборудованию для проверки батарей, рассмотрена проблема подогрева в зимнее время и проведение диагностики электромобиля с помощью специального ПО.

- В третьей главе определены основные проблемы зарядки при низких температурах и разработаны рекомендации для повышения эффективности заряда в условиях холода.

Возможные ограничения работы: Бюджетные и технические ограничения, а также потенциальные сложности интеграции новых систем с уже существующими системами безопасности предприятия.

Заключение: Посвящено выводам по улучшению эксплуатационных свойств литий-ионных аккумуляторов в криогенных условиях и прогнозам по разработке новых типов аккумуляторов.

					UTM 071.1 001 ME	Coala
						11
<i>Mod</i>	<i>Coala</i>	<i>Nr. document</i>	<i>Semnăt.</i>	<i>Data</i>		



## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Литий-ионные аккумуляторы: CRAFTMANN. Eurobattery engineering, ©2005-2023 [дата обращения 31.01.2023]. Доступно: <https://craftmann.ru/articles/battery/type/li-ion.html>
2. Будущее энергетики: металл-воздушные аккумуляторы: Образовательный сайт. Школа для электрика, ©2008 - 2024 [дата обращения 31.01.2023]. Доступно: <https://electricalschool.info/power/2851-metall-vozdushnye-akkumulyatory.html>
3. Пожароопасность литиевых аккумуляторов: Virtustec. Публикация 15.07.2023, ©2024 [дата обращения 01.02.2023]. Доступно: <https://virtustec.ru/news/pozharoопасnost-litievyh-akkumulyatorov/>
4. Электромобили в зимних условиях: вызовы и решения: ncars. Новые электромобили из Китая, 17.11.2023, ©2022 [дата обращения 01.02.2023]. Доступно: <https://ncars.com.ua/ru/media/iak-elektromobil-povodytsia-na-morozi/>
5. Производительность литиевой батареи при низкой температуре: TRITEK. Shenzhen Tritек Limited, ©2021 [дата обращения 01.02.2023]. Доступно: <https://tritekbattery.com/ru/lithium-battery-performance-at-low-temperatures/>
6. Горшков В.Н. Общая теория электромеханического преобразования энергии: Магистерская диссертация. Институт энергетики и электротехники. Тольятти, 2017 [дата обращения 02.02.2023]. Доступно: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/5609/1/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%D0%92.%D0%9D.%D0%AD%D0%AD%D0%A2%D0%BC\\_1502.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/5609/1/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%88%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%D0%92.%D0%9D.%D0%AD%D0%AD%D0%A2%D0%BC_1502.pdf), с. 29-31.
7. Ли М.В. Современное состояние электромобилей и пути улучшения его характеристик и дизайна: Магистерская диссертация. Институт Металлургии и промышленной инженерии. Алматы, 2021 [дата обращения 02.02.2023]. Доступно: <https://official.satbayev.university/download/document/21167/7%D0%9C07108%20-%20%D0%9B%D0%B8%20%D0%9C%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D0%92%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B0.pdf>
8. Кевин Буллис. Твердотельные батареи изменят мир: Сообщество IT-специалистов Habr. Публикация Абак 16.08.2014. ©2006–2024, [дата обращения 03.02.2023]. Доступно: <https://habr.com/ru/articles/233541/>
9. Литий-серные батареи — и электромобиль проезжает в пять раз больше: ZOOM. Наука, публикация 27.01.2022, ©1995-2024 [дата обращения 03.02.2023]. Доступно: [https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/litijsernye\\_batarei\\_i\\_elektromobil\\_proezzhaet\\_v\\_pyat\\_raz](https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/litijsernye_batarei_i_elektromobil_proezzhaet_v_pyat_raz)

					UTM 071.1 001 ME	<i>Coala</i>
<i>Mod</i>	<i>Coala</i>	<i>Nr. document</i>	<i>Semnăt.</i>	<i>Data</i>		12

10. Что влияет на литиевые батареи при низких температурах?: SM batteries. Публикация 03.08.2023, ©2005 [дата обращения 03.02.2023]. Доступно: <https://cmbatteries.com/ru/%D0%BA%D0%B0%D0%BA-%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D1%8F%D0%B5%D1%82-%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D1%80%D0%BE%D0%BA-%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B1%D1%8B-%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9-%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%B8-%D0%B2-%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%83%D1%8E-%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83/>
11. Литий-ионные аккумуляторы: CRAFTMANN. Eurobattery engineering, ©2005-2023 [дата обращения 03.02.2023]. Доступно: <https://isp.today/ru/%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB-%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%B8%D0%B4-nimh-%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%B8-%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD/>
12. Температура: CRAFTMANN. Eurobattery engineering, ©2005-2023 [дата обращения 03.02.2023]. Доступно: <https://craftmann.ru/articles/battery/parameters/temperature.html>
13. Оспанбеков Б. К. Оптимизация ресурсопределяющих эксплуатационных режимов тяговых аккумуляторных батарей электромобилей: Диссертация на соискание ученой степени Кандидата технических наук. МАДИ, Москва, 2017 [дата обращения 04.02.2023]. Доступно: [https://miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id\\_wm=767926](https://miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id_wm=767926)
14. Waldmann, Thomas Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium – ion batteries – A Post – Mortem study // Thomas Waldmann, Marchael Kasper, Meike Fleischhammer, Margret Wohlfahrt – Mehrens// Journal of Power Sources, Elsevier, 2014, 363,pp. 129–135. DOI 10.1016/j.jpowsour. 2014.03.112, hal-03787753.
15. P Gorny, Monitoring and Health prognosis of Lithium-Ion battery system // Piotr Gorny, Piotr Morz, Tadeusz UHL // 8th European Workshop On Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), 5-8 July 2016.

					UTM 071.1 001 ME	Coala
<b>Mod</b>	<b>Coala</b>	<b>Nr. document</b>	<b>Semnăt.</b>	<b>Data</b>		13

16. Проверка АКБ: какие параметры аккумуляторных батарей нужно проверять и как это сделать?: СвязьКомплект. ©1997 - 2024 [дата обращения 04.02.2023]. Доступно: [https://skomplekt.com/proverka\\_akb\\_kakie\\_parametry\\_akkumulyatornyh\\_batarej\\_nuzhno\\_proveryat\\_i\\_kak\\_ehto\\_sdelat/](https://skomplekt.com/proverka_akb_kakie_parametry_akkumulyatornyh_batarej_nuzhno_proveryat_i_kak_ehto_sdelat/)
17. Igor-PV. Подогрев высоковольтной батареи Nissan Leaf:: DRIVE2.RU. Публикация 21.11.2022, ©2024 [дата обращения 04.02.2023]. Доступно: <https://www.drive2.ru/b/632838486969290739/>
18. Зачем делать диагностику батареи: пример Nissan Leaf:Master Service. Публикация 02.07.2021, ©2024 [дата обращения 04.02.2023]. Доступно: <https://master.shop/ru/articles/navischo-provoditi-dagnostiku-batareyi-priklad-nissan-leaf>
19. Диагностика Nissan Leaf с помощью программы Leaf Spy: Про автомобили в Беларуси и мире, e-Go.by. Публикация 24.11.2022, e-Go.by. ©2024 [дата обращения 01.02.2023]. Доступно: <https://www.e-go.by/help/diagnostika-nissan-leaf-s-pomoshhju-programmy-leaf-spy/>
20. Ed Fontes. Почему автомобильные аккумуляторы плохо работают в холодную погоду?: COMSOL INC. Публикация 05.02.2015, ©2024 [дата обращения 05.02.2023]. Доступно: <https://www.comsol.ru/blogs/why-car-batteries-perform-poorly-in-cold-weather/>
21. Абрамова Олеся. Зарядка аккумуляторных батарей в условиях низких и высоких температур: DEST ENERGY. Публикация 10.05.2016, ©2002-2017 [дата обращения 05.02.2023]. Доступно: <https://best-energy.com.ua/support/chargers/bu-410>
22. Татарников О. Современные аккумуляторы: КомпьютерПресс, ©1999 - 2024 [дата обращения 06.02.2023]. Доступно: <https://compress.ru/article.aspx?id=14438>
23. Аккумуляторы электромобилей: Емкость, устройство, срок службы: Автосалон Neocars. ООО «НЕО КАРС МОСКВА». Публикация 13.12.2023, ©2024, [дата обращения 06.02.2023]. Доступно: <https://trauto.ru/akkumulyatory-elektromobilej-emkost-ustrojstvo-srok-sluzhby/>
- Ревин А., Колодочкин М. Мороз и акб: Что делать, если вдруг разрядился аккумулятор: Интернет издание «За рулем». Публикация 19.11.2021, ©1928-2024 [дата обращения 06.02.2023]. Доступно: <https://www.zr.ru/content/articles/932037-zaryadka-na-moroze/>

					UTM 071.1 001 ME	Coala
						14
<b>Mod</b>	<b>Coala</b>	<b>Nr. document</b>	<b>Semnăt.</b>	<b>Data</b>		