

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

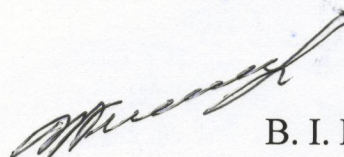
Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

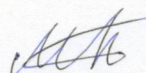
#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВИХ МОСТІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ N<sub>3</sub>

Завідувач кафедри д. т. н. проф.




В. І. Клименко

Нормоконтролер к. т. н., доцент.



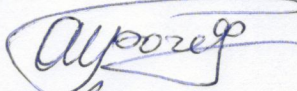
М. П. Холодов

Керівник к. т. н., доцент



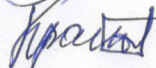
Ю. С. Овчаренко

Консультант, к. т. н., проф.



О.І. Богатов

Студент гр. АА-61-23



І. І. Кравчук

Факультет автомобільний  
Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула  
Освітній рівень магістр  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри автомобілів  
ім. А.Б. Гредескула  
проф. Клименко В.І.  
“10” 10 2024 року

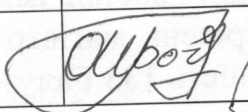
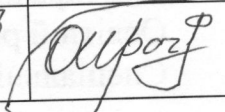
### З А В Д А Н Н Я

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ

##### Кравчук Ігорю Ігоровичу

1. Тема роботи: Дослідження тягових мостів з електричним приводом транспортних засобів категорії  $N_3$   
керівник проекту Овчаренко Юрій Євгенович, канд. техн. наук, доцент  
затверджені наказом ректора ХНАДУ від “10” жовтня 2024 року № 136
2. Строк подання студентом проекту 09 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до проекту: Повна маса автомобіля  $m_a = 18160$  кг;  
Споряджена маса автомобіля  $m_0 = 8000$  кг;  
Максимальна швидкість  $V_{max} = 120$  км/год;  
Коефіцієнт сумарного дорожнього опору при русі з максимальною швидкістю  $\psi_v = 0,035$  ;  
Коефіцієнт максимального дорожнього опору  $\psi_{max} = 0,36$ .
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Аналіз науково-технічної інформації за темою магістерської роботи. 2 Аналіз тягових мостів з електричним приводом колісних транспортних засобів великого класу. 3 Силова установка електрокара як об'єкт керування електричним двигуном. 4 Побудова моделі контролера та тягового електричного двигуна. 5 Безпека життєдіяльності.. Висновки. Список літератури.
5. Перелік графічного матеріалу: —

### 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності	Богатов О.І. доц. каф. Метрології та безпеки життєдіяльності		

7. Дата видачі завдання “ 10 ” 10 2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Аналіз науково-технічної інформації за темою магістерської роботи	05.10.2024	
2	Дослідження основних технічних характеристик електрокарів	17.10.2022	
3	Аналіз тягових мостів з електричним приводом колісних транспортних засобів великого класу	28.10.2024	
4	Силова установка електрокара як об'єкт керування електричним двигуном	18.11.2024	
5	Побудова моделі контролера та тягового електричного двигуна	02.12.2024	
6	Охорона праці – ергономічні показники проєктованого автомобіля	07.12.2024	
7	Безпека життєдіяльності. Експертна оцінка транспортних засобів категорії N <sub>3</sub>	11.12.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2024	
9	Підготовка презентації до захисту	18.12.2024	

Студент

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ Кравчук І.І.

\_\_\_\_\_ Овчаренко Ю.Є.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 87 с., 42 рис., 9 табл., 57 джерел.

КОЛІСНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИВОД, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ, ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, СУПЕРКОНДЕНСАТОР, ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ.

Об'єктом дослідження виступають процеси створення силових установок колісних транспортних засобів (КТЗ) категорії  $N_3$  з заданими технічними характеристиками та інфраструктури для їх обслуговування.

Метою роботи є аналіз та вибір раціонального типу тягового моста для створення конструкцій транспортних засобів категорії  $N_3$  з метою подальшого освоєння їх серійного виробництва на підприємствах України.

Мета дослідження – підвищення експлуатаційних властивостей вітчизняних КТЗ категорії  $N_3$ .

Методами дослідження є теоретичні та експериментальні дослідження що, базуються на загальнонаукових методах системного аналізу техніко-експлуатаційних характеристик КТЗ категорії  $N_3$ .

Найбільш перспективним напрямом вирішення задачі підвищення екологічної чистоти та економічності автомобілів вважається використання тягового електроприводу. Цей напрямок пов'язаний як з подальшим удосконаленням електромобілів, так і з розробками автомобілів, оснащених гібридними силовими установками. Такі силові установки включають, окрім двигуна внутрішнього згорання, тяговий електродвигун, контур рекуперації енергії, а також пристрій керування перерозподілом потоків потужності.

При проектуванні нових автомобільних силових установок виникає складна проблема наукового обґрунтування їх базових параметрів і характеристик, що вимагає проведення обчислювальних експериментів з відповідними математичними моделями.

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
1 Аналіз науково-технічної інформації за темою магістерської роботи.....	6
1.1 Аналіз наукових праць щодо перспектив розвитку автомобільних транспортних засобів з електричним приводом .....	6
1.2 Аналіз впливу типу тягового моста на експлуатаційні параметри транспортних засобах категорії $N_3$ .....	8
1.3 Системний аналіз перспектив розвитку колісних транспортних засобів з електричним приводом .....	12
1.3.1 Комерційний транспорт.....	13
1.3.2 Транспорт для перевезення вантажів на міжміські відстані .....	19
2 Аналіз тягових мостів з електричним приводом колісних транспортних засобів великого класу .....	22
2.1 Визначення основних параметрів проектованого автомобіля .....	22
2.2 Компонувальні схеми вантажних електрокарів.....	24
2.3 Обґрунтування технічних параметрів основних конструкцій тягових мостів.....	31
2.4 Основні конструкції електрокарів.....	34
2.5 Вибір тягового джерела електричної енергії для електрокара	39
2.5.1 Вимоги до тягового джерела струму.....	39
2.5.2 Аналіз накопичувачів енергії різних типів.....	41
2.5.3 Критерії раціонального вибору електродвигуна для тягового електропривода муніципального електрокара .....	44
3 Силова установка електрокара, як об'єкт керування електричним двигуном .....	47
3.1 Основні електричні комплектуючі вантажних електрокарів .....	47
3.2 Система керування тяговим електричним двигуном .....	48
3.3 Створення комп'ютерної моделі тягової батареї електрокара.....	50
3.3.1 Побудова моделі тягової батареї в <i>MATLAB / Simulink</i> .....	51
3.3.2 Розрахунок <i>SOC</i> (напруга тягової батареї).....	54
3.3.3 Розрахунок <i>OCV</i> (напруга розімкненого ланцюга) .....	55

	4
3.3.4 Значення $RC$ (послідовний опір).....	55
3.3.5 Напруга $RC$ в паралельній мережі.....	56
3.3.6 Розрахунок $V_s$ (падіння напруги) .....	57
4 Побудова моделі контролера та тягового електричного двигуна .....	59
4.1 Побудова моделі.....	59
4.2 Повна модель тягової батареї, контролера, електричного двигуна.....	64
4.3 Результати та аналіз роботи моделі тягової батареї, контролера та тягового електричного двигуна.....	65
4.3.1 Симуляція та експеримент .....	65
4.3.2 Графіки з блоку " <i>Scope</i> " .....	67
5 Аналіз безпеки життя та діяльності людини на підприємстві.....	69
5.1 Виробнича санітарія.....	69
5.2 Основні вимоги техніки безпеки .....	72
5.2.1 Техніка безпеки при роботі на металоріжучих верстатах.....	73
5.3 Пожежна безпека.....	74
5.4 Екологічна безпека.....	76
5.5 Розрахунок освітленості приміщення .....	76
5.6 Розрахунок загального електричного навантаження ліній, що живлять розетки та освітлення у приміщенні .....	79
Висновки .....	81
Список літератури.....	82

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Бикова О. В., та ін. Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень. Вісник ХНАДУ. 2016. № 72. С. 29–34.
2. Аргун Щ. В. Ретроспектива розвитку об'єдиненої енергетическої системи України. Вісник ХНАДУ. 2014. № 67. С. 134–137.
3. Аргун Щ. В. Проекти та моделі сонячних зарядних станцій для електромобілів. Вісник ХНАДУ. 2018. № 80. С. 45–52.
4. Argun S. Types of alternative energy and prospects for their use in Ukraine. Автомобільний транспорт. 2014. № 35. С. 29–33.
5. Аргун Щ. В. Розрахунок основних характеристик тягового асинхронного двигуна для електричної трансмісії міського електробуса. Автомобільний транспорт. 2018. № 43. С. 36–46.
6. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 1. Вісник ХНАДУ. 2017. № 77. С. 68–74.
7. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Study of load characteristics of various types of silicon PV panels for sustainable energy efficient road pavement. Electrical, control and communication engineering. 2019. Vol. 15. № 1. P. 30-38. (Web of Science)1.
8. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Енергогенеруюча плитка як альтернативне малопотужне джерело електричної енергії. Автомобільний транспорт. 2017. № 40. С. 167–172.
9. Gnatov A., Argun S. New method of car body panel external straightening: Tools of method. international journal of vehicular technology. 2015. Vol. 2015. P. 1–7. (Scopus, квартиль Q3)
10. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Дзюбенко О. А. Вибір схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинки. Вісник ХНАДУ. 2018. № 81. С. 29–38.
11. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Киценко О. Р. Сучасні дороги та дороги майбутнього, їх види та перспективи використання. Вісник ХНАДУ. 2017. № 76. С. 66–73.

12. Мигаль В. Д., Аргун Щ. В. Вибір методу оцінки якості асинхронних тягових електродвигунів для електробусів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2019. Вип. 15. С. 105–113.

13. Patlins A., Hnatov A., Arhun S., та ін. Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. Transportation research procedia. 2019. Vol. 40. P. 434–441. (Scopus)

14. Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O., та ін. A Device for Converting Kinetic Energy of Press Into Electric Power as a Means of Energy Saving. Journal of the korean society for precision engineering. 2019. Vol. 36, № 1. P. 105–110. (Scopus, квартиль Q2)

15. Hnatov A., Arhun S., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2017. Vol. 14, № 4. P. 4649–4664. (Scopus, квартиль Q2)

16. Проект української електричної вантажівки *CoolOn* набирає оберти : веб-сайт. URL: <https://newsyou.info/proekt-ukrainskogo-elektricheskogo-gruzovika-soolon-nabiraet-oboroti> (дата звернення: 13.03.2021).

17. Войтків С. В. Аналіз компоновальних схем електромобілів малої вантажопідйомності. "Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту" : матеріали VIII міжнар. наук.-практ. інтернет-конф, 14-15 квіт. 2020 р. : зб. наук. праць. Вінниця : ВНТУ, 2020. С. 75-83.

18. Arrival представила новий прототип свого електрофургона : веб-сайт. URL: <https://mintrans.news/tech/arrival-predstavila-novyy-prototip-svoego-elektrofurgona> (дата звернення: 07.02.2021).

19. Войтків С. В., Тараненко М. Є. Напрями розвитку конструкцій електричних тягових приводів комерційних електромобілів на основі ведучих мостів балкового і порталного типів. Автомобільний транспорт. 2019. Вип. 45. С. 79-90.

20. Products for Buses and Coaches. URL:[https://www.zf.com/products/en/buses/products\\_40128.html](https://www.zf.com/products/en/buses/products_40128.html) (дата звернення 06.11.2018).

21. Brist's Product Brochure. URL: <http://bristaxle.com/products/> (дата звернення 05.11 2018).

22. AxleTech Sells Electric Vehicle Systems. URL: <https://www.axletech.com/es/products/electricsolutions>. (дата звернення 29.10.2018).

23. ZAWheel axle drive module. URL: <https://www.ziehlabegg.com/gb/en/product-range/automotive/axle-drive-module/> (дата звернення 17.07.2018).

24. Dana Electrified Products. URL: <http://www.danaelectrified.com/products> (дата звернення 11.10.2018).

25. Introducing TM4-SUMO. URL: <https://www.tm4.com/products/direct-drive-electricpowertrain/> (дата звернення 08.07.2018).

26. PowerPhase\_145\_DataSheet. URL: [https://www.neweagle.net/support/wiki/Product\\_Documentation/EV\\_Software\\_and\\_Hardware/Traction\\_Inverters/UQM/PowerPhase\\_145\\_DataSheet.pdf](https://www.neweagle.net/support/wiki/Product_Documentation/EV_Software_and_Hardware/Traction_Inverters/UQM/PowerPhase_145_DataSheet.pdf). (дата звернення 30.05.2018).

27. Specifications Siemens 1PV51XX-4WSXX induction motors. URL: <http://www.hec-drives.nl/Specs%20Siemens%201PV51XX.pdf>. (дата звернення 01.08.2018).

28. HSM1-6.17.12. URL: <https://www.brusa.biz/produkte/antrieb/motoren-400-v/hsm1-61712.html> (дата звернення 11.09.2018).

29. AF-140-Tech-Sheet-V13. URL: [http://products.gknlandssystem.info/fileadmin/user\\_upload/pdf/Electrics/DS\\_GKN\\_electric\\_motor\\_technology\\_64\\_GB\\_1214.pdf](http://products.gknlandssystem.info/fileadmin/user_upload/pdf/Electrics/DS_GKN_electric_motor_technology_64_GB_1214.pdf). (дата звернення 11.09.2018). References 1. Pat. KM 26119 Ukrayiny. Avtobus

30. InterTruck\_2017\_1\_light-min (3).pdf

31. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Mashura A., Hordiienko D., Khoruzhevskyi H. Improving energy indicators of the charging station for electric vehicles based on a three-level active rectifier. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3, No. 8 (105). P. 46–55.

32. Войтків С. В. Визначення параметрів мас міських електробусів великого класу на етапі ескізного проектування. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту. Матеріали ІХ-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 14-15 квітня 2021 року: зб. наук. праць. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 59-64.

33. HSM1-6.17.12. Retrived from: <https://www.brusa.biz/produkte/antrieb/motoren-400-v/hsm161712.html> (accessed 11.09.2018).

34. AF-140-Tech-Sheet-V13. Retrived from: [http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user\\_Автомобільний\\_транспорт,\\_вип.\\_45,\\_201990\\_upload/pdf/Electrics/DS\\_GKN\\_electric\\_motor\\_technology\\_64\\_GB\\_1214.pdf](http://products.gknlandsystems.info/fileadmin/user_Автомобільний_транспорт,_вип._45,_201990_upload/pdf/Electrics/DS_GKN_electric_motor_technology_64_GB_1214.pdf). (accessed 11.09.2018).

35. Ehsani M., Gao Y., Longo S., та ін. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: CRC press, Taylor & Francis Group, 2018. 58 с.

36. Soren H. J., Claus N. R., Guangya Y. WP 1.5 Battery Modeling. веб-сайт. URL: <https://studylib.net/doc/18516383/wp-1.5-battery-modelingStudyLib>, (дата звернення: 13.08.19).

37. Сорокин, А. Суперконденсаторы. веб-сайт. URL:<http://www.electrosad.ru/Electronics/SuperCon.htm>electrosad.ru.

38. Аргун Щ. В. Визначення найбільш ефективних тягових джерел струму для електромобілів. Автомобільний транспорт. 2017. № 41. С. 11–22.

39. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2. Вісник ХНАДУ. 2017. № 78. С. 116–124.

40. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2. Вісник ХНАДУ. 2017. № 78. С. 116–124.

41. Тарасова В. В., Суховій С. А., Гнатов А. В., та ін. Використання асинхронного двигуна, як об'єкта автоматичного керування. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. Вип. 12. С. 171–179

42. Аргун Щ. В. Енергозберігаючі технології на основі п'єзоелектричного ефекту для автомобільної техніки. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. Вип. 11. С. 13–19.

43. Аргун Щ. В., Голиков О. Д. Вітрогенераторна установка, як додаткове джерело електричної енергії для електромобіля. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. Вип. 12. С. 6–11.

44. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Череватий В. О., та ін. Сонячна енергія – основні види та типи сонячних електростанцій. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. Вип. 12. С. 12–21.

45. A.S. Kavasoglu, N. Kavasoglu, S. Oktik. Simulation for capacitance correction from Nyquist plot of complex impedance-voltage characteristics // Solid-State Electronics, 52, pp. 990-996 (2008).

46. [Ru-patent.info] – Режим доступу: <http://ru-patent.info/21/20-24/2123944.html> – Дата доступу: 06.03.2018.

47. Teoh L. E., Khoo H. L., Goh S. Y., та ін. Scenario-based electric bus operation: A case study of Putrajaya, Malaysia. International Journal of Transportation Science and Technology. 2018. Вип. 7, № 1. С. 10–25.

48. Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., та ін. Researching the Model of Electric Propulsion system for bus with the Matlab Simulink: 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia , 07 October 2019. С. 1–6.

49. “Modeling of Lithium-Ion Battery Using MATLAB/Simulink” – Low Wen Yao, Aziz, J. A., Pui Yee Kong, N. R. N. Idris Power Electronics and Drives Research Group, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81300 Skudai, Johor, Malaysia.

50. L. Long, P. Bauer and E. Kelder, “A practical circuit-based model for lion battery cells in electric vehicle applications,” IEEE Telecommunications Energy Conference (INTELEC), pp. 1-9, October 2011.

51. “Модельовання систем регулювання частоти обертання електричних машин в Simulink Matlab” – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=zNL7RjQzkjQ>

52. M. Chen and G. A. Rincon-Mora, "Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 21, no. 2, pp. 504-511, June 2006.