

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б Гредескула

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ N3 ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОКРАЩЕННЯ

Завідувач кафедри д. т. н. проф.



В. І. Клименко

Нормоконтролер к. т. н., доцент.



О. О. Ярита

Керівник к. т. н., доцент



М. П. Холодов

Студент гр. АА-61-23



І. Л. Хромченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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 СТУДЕНТУ

Хромченко Івану Леонідовичу

1. Тема роботи: дослідження факторів які впливають на стійкість транспортних засобів проти заносу
керівник проекту Холодоав Михайло Павлович, канд. техн. наук, доцент
затверджені наказом ректора ХНАДУ від “_10_” __10__ 2024 року № 136
2. Строк подання студентом проекту 09 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до проекту: Повна маса автомобіля $m_a = 40000$ кг;
Споряджена маса автомобіля $m_0 = 20000$ кг;
Максимальна швидкість $V_{max} = 120$ км/год;
Коефіцієнт опору $C_x = 0,35$
Коефіцієнт сумарного дорожнього опору при русі з максимальною швидкістю $\psi_v = 0,013$.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Вступ. Вибір основних параметрів автомобіля. 2 Дослідження факторів які впливають на стійкість транспортних засобів проти заносу. 3 Вплив конструктивних і експлуатаційних чинників на стійкість автомобіля проти заносу.. Висновки. Список літератури.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв



7. Дата видачі завдання “ 01 ” вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Вибір основних параметрів автомобіля	05.10.2024	
2	Теоретичне дослідження ефективності гальмування вантажного автомобіля	18.11.2024	
3	Аналіз існуючих рішень для покращення гальмівних властивостей	02.12.2024	
4	Аналіз можливих схем поділу контурів гальмівних приводів	07.12.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки	15.12.2024	
6	Підготовка презентації до захисту	18.12.2024	

Студент

Керівник проекту (роботи)

—  — Хромченко І. Л.
 Холодов М.П.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 97 с., 21 рис., 27 табл., 27 джерел.
ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ КАТЕГОРІЇ N3, ГАЛЬМІВНІ ВЛАСТИВОСТІ,
ГАЛЬМІВНИЙ ШЛЯХ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ГАЛЬМУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – гальмівні системи транспортних засобів категорії N3.

Предмет дослідження – Конструктивні та експлуатаційні параметри, які впливають на ефективність і стабільність роботи гальмівних систем транспортних засобів категорії N3.

Мета дослідження – підвищення ефективності та стабільності гальмування транспортних засобів категорії N3 на основі аналізу основних факторів, які впливають на їх гальмівні властивості, та моделювання гальмівних процесів.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена комплексному дослідженню гальмівних властивостей транспортних засобів категорії N3. Особлива увага приділена аналізу факторів, які впливають на ефективність, стабільність і безпеку гальмування таких транспортних засобів. У роботі проведено аналіз основних конструктивних параметрів гальмівних систем, впливу теплових навантажень, зносу елементів і особливостей експлуатації. Виконано математичне моделювання гальмівних процесів, яке дозволило визначити оптимальні характеристики для підвищення ефективності гальмування. Запропоновані рекомендації з удосконалення гальмівних систем, які можуть бути використані в практичній діяльності виробників та операторів транспортних засобів категорії N3. Результати дослідження спрямовані на підвищення загального рівня безпеки експлуатації важких транспортних засобів у різних умовах.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Вибір та обґрунтування параметрів автомобіля.....	8
1.1.1 Аналіз параметрів автомобілів-аналогів	8
1.2.1 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна.....	11
1.3 Описання кінематичної схеми.....	13
13.1 Вибір передаточних чисел трансмісії.....	16
2. Теоретичне дослідження ефективності гальмування вантажного автомобіля.....	20
2.1 Формування нормативних вимог до ефективності гальмування вантажних автомобілів.....	20
2.2. Оптимізація розподілу гальмівних зусиль між осями двовісних вантажних автомобілів з урахуванням зміни навантаження	24
2.3. Підбір раціонального розподілу гальмівних зусиль між осями двовісного транспортного засобу за критерієм середнього уповільнення.....	29
2.4. Визначення порядку блокування коліс тривісного транспортного засобу з міжвісним диференціалом.....	34
2.5. Послідовні схеми блокування коліс тривісного автомобіля з міжвісним диференціалом.....	45
2.6. Підбір раціонального розподілу гальмівних зусиль між осями тривісного транспортного засобу з міжвісним диференціалом.....	50
2.7. Оцінка перспективності використання різних варіантів розподілу гальмівних зусиль між осями тривісного транспортного засобу КрАЗ.....	62
2.8. Розподіл гальмівних зусиль між осями тривісного транспортного засобу в різних фазах блокування коліс.....	68
3 Аналіз існуючих рішень для покращення гальмівних властивостей.....	73
3.1.1 Впровадження антиблокувальних систем гальмування (ABS)	73
3.1.2 Моделювання та симуляція гальмівних процесів.	73
3.1.3 Інтеграція регенеративного гальмування.	73

3.1.4 Електронні системи стабілізації (ESC).	74
3. 1.5 Експериментальні методи дослідження гальмівних властивостей.....	74
4 Покращення гальмівних властивостей транспортних засобів категорії N3 за рахунок удосконалення гальмівного приводу.....	76
4.1 Аналіз можливих схем поділу контурів гальмівних приводів.....	76
4.2. Вплив схеми поділу контурів гальмівного приводу на ефективність гальмування резервної гальмівної системи.....	78
4.2.1. Аналіз гальмівних властивостей вантажного автомобіля при різних схемах поділу контурів гальмівного приводу.....	78
4.2.2. Оцінка перспектив використання різних схем поділу контурів гальмівного приводу.....	84
4.3. Оцінка енергетичних витрат на деформацію елементів приводу гальм вантажних автомобілів.....	87
4.3.1. Визначення сумарної довжини трубопроводів приводу гальм.....	88
4.3.2. Порівняльний аналіз гідравлічного та пневматичного приводів гальмівних систем за енергоспоживанням.....	90
Висновки	96
Список літератури.....	97

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Liu, Z.-q.; Lin, K.-l. An Experimental Study on the Brake Performance of Large Multi-Axle Construction Vehicles. *J. Jiangsu Univ. Sci. Technol. (Nat. Sci.)* **2000**, *21*, 20–23.
2. Wang, Z.; Qian, Y.; Guo, C. The match design of braking system for a triaxial mid-sized-truck. *J. HeFei Univ. Technol.* **2007**, *30*, 16–18.
3. Hou, X. Study on Modeling and Simulation of Air-Hydraulic Brake System. Master's Thesis, Wuhan University of Technology, Wuhan, China, 2014. (In Chinese).
4. Wang, Z.; Zhou, X.; Yang, C.; Hu, B. Effects of Driver's Braking Intention on Hysteresis Characteristics of Emergency Braking in Multi-axle Vehicle. *Automot. Eng.* **2018**, *40*, 1185–1191.
5. Bartlett, W.D. *Calculation of Deceleration Rates for S-Cam Air-Braked Heavy Trucks Equipped with Anti-Lock Brake Systems*; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2007.
6. Chen, S. Study on Braking Delay Characteristic of Associated Braking System of Heavy Equipment Transporter. Master's Thesis, Jiangsu University, Zhenjiang, China, 2019.
7. He, X.; Cheng, H.; Liu, Z.; Yang, J.; Huang, T. Comparative Study on Anti-Lock Braking Control Strategies Based on Heavy-Duty Multi-Axle Special Vehicles. In Proceedings of the 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Chongqing, China, 18–20 June 2021; Volume 4, pp. 780–785.
8. Zhang, W. Research of ABS Algorithm for Multi-Axle Vehicles and HIL Test. Doctor Thesis, Wuhan University of Technology, Wuhan, China, 2015.
9. Wang, D.-F.; Ji, F.; Chen, S.-M.; Su, L.-L.; Hao, H. Simulation analysis and experiment of pneumatic ABS performance for multi-axles heavy-duty truck. *J. Jilin Univ. (Eng. Technol. Ed.)* **2012**, *42*, 7–12.
10. Pennycott, A.; De Novellis, L.; Gruber, P.; Sorniotti, A. Optimal Braking Force Allocation for a Four-Wheel Drive Fully Electric Vehicle. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part I J. Syst. Control. Eng.* **2014**, *228*, 621–628.
11. Yan, Y.; Zhang, J.; Xu, X.; Huang, L. Research on Regenerative Braking Control Strategy of Dual-Motor Driven Electric Vehicle. *Automob. Technol.* **2019**, *6*, 1–7.
12. Wu, T.; Wang, F.; Ye, P. Regenerative Braking Strategy of Dual-Motor EV Considering Energy Recovery and Brake Stability. *World Electr. Veh. J.* **2023**, *14*, 19.
13. Yu, D.; Wang, W.; Zhang, H.; Xu, D. Research on Anti-Lock Braking Control Strategy of Distributed-Driven Electric Vehicle. *IEEE Access* **2020**, *8*, 162467–162478.
14. Yang, Y.; Wang, C.; Yang, S.; Tang, X. Study on Top Hierarchy Control Strategy of AEBS over Regenerative Brake and Hydraulic Brake for Hub Motor Drive BEVs. *Energies* **2022**, *15*, 8382.

15. Song, X. Design and Control Research on the Electric Wheel of 320 Tons Multi-Axis Mine Truck. Master's Thesis, Wuhan University of Technology, Wuhan, China, 2015.
16. Zhang, W. Research on Technologies of Energy Management and Energy Saving for Electric Mining Truck. Doctor Thesis, University of Science and Technology Beijing, Beijing, China, 2019.
17. Hu, X. Design and Research on Joint Electromechanical Brake System of Electric Drive Mining Dump Truck. *Coal Mine Mach.* **2015**, *36*, 64–68.
18. Shen, Y.; Zhu, M.; Liu, X.; Li, L. Study on topological configuration and performance of composite braking system of distributed driving multi-axis vehicle. *J. Dyn. Control* **2021**, *19*, 31–37.
19. Li, X.; Ma, J.; Zhao, X.; Wang, L. Study on Braking Energy Recovery Control Strategy for Four-Axle Battery Electric Heavy-Duty Trucks. *Int. J. Energy Res.* **2023**, *2023*, 1868528.
20. Wan, Z.; Gao, F.; Ding, J.; Wu, X. Dynamics model and braking performance analysis of multi-axle vehicle. *China Mech. Eng.* **2008**, *19*, 365–369.
21. Heydari, S.; Fajri, P.; Rasheduzzaman, M.; Sabzehgar, R. Maximizing Regenerative Braking Energy Recovery of Electric Vehicles Through Dynamic Low-Speed Cutoff Point Detection. *IEEE Trans. Transp. Electrification* **2019**, *5*, 262–270.
22. Han, J.; Park, Y.; Park, Y. Cooperative Regenerative Braking Control for Front-Wheel-Drive Hybrid Electric Vehicle Based on Adaptive Regenerative Brake Torque Optimization Using under-Steer Index. *Int. J. Automot. Technol.* **2014**, *15*, 989–1000.
23. Panagiotidis, M.; Delagrammatikas, G.; Assanis, D. Development and use of a regenerative braking model for a parallel hybrid electric vehicle. *SAE Trans.* **2000**, *109*, 1180–1191.
24. Xu, S., Zhang, X., Jiao, Y., Wei, L., He, J., & Zeng, X. (2024). Research on the Multi-Mode Composite Braking Control Strategy of Electric Wheel-Drive Multi-Axle Heavy-Duty Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, *15*(3), 83. <https://doi.org/10.3390/wevj15030083>
25. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навч. посібник. – Харків: ХНАДУ, 2003. – 306 с.
26. Волков В.П. Теорія руху автомобіля: Підручник. – Суми: «ВТК «Університетська книга», 2015. – 320 с.
27. Шуклінов С.М. Автомобіль. Теорія та експлуатаційні властивості : навч. посіб. / С.М. Шуклінов, М.М. Альокса. – Харків : ФОП Бровін О.В., 2022. – 280 с. ISBN 978-617-8009-77-9