

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
МАГІСТРА**

**АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ АВТОПОЇЗДА У ГАЛЬМІВНОМУ РЕЖИМІ**

Завідувач кафедри д-р. техн. наук, проф.

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.

Керівник канд. техн. наук

Студент гр. АА-61



Валерій КЛИМЕНКО

Олександр ЯРИТА

Михайло ХОЛОДОВ

Владислав ТОКАРСЬ

Харків – 2025

# Харківський національний автомобільно-дорожній університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Автомобільний  
Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
(шифр і назва)  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автомобілів  
ім. А.Б. Гредескула



проф.Клименко В.І.  
“20” 10 2025 рік

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Токареву Владиславу Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

#### 1. Тема проекту Аналіз стійкості автопоїзда у гальмівному режимі

керівник проекту Холодов Михайло Павлович, канд. техн. наук, доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора ХНАДУ від “08.10.” 2025 року №155

#### 2. Строк подання студентом проекту 11 грудня 2025 року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Аналіз систем забезпечення стійкості руху автомобілів та автопоїздів у гальмівному режимі ;2. Силова взаємодія та розподіл навантажень в автопоїзді під час гальмування 3. Аналіз розподілу навантажень та критерії стійкості автопоїзда. 4. Комп'ютерне моделювання стійкості руху автопоїзда. ; Висновки. Перелік посилань. Додатки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): - .

#### 5. Консультанти розділів роботи

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

**6. Дата видачі завдання 1 вересня 2025р.**

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Аналіз систем забезпечення стійкості руху автомобілів та автопоїздів у гальмівному режимі	15.09.25	
2	Силова взаємодія та розподіл навантажень в автопоїзді під час гальмування	09.10.25	
3	Аналіз розподілу навантажень та критерії стійкості автопоїзда	25.10.25	
4	4 Комп'ютерне моделювання стійкості руху автопоїзда.	20.11.25	
5	Висновки. Перелік посилань. Додатки.	01.12.25	
6	Оформлення пояснювальної записки.	05.12.25	
7	Підготовка презентації до захисту.	10.12.25	

**Студент**

  
(підпис)

**Токарев В.М.**

(прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

  
(підпис)

**Холодов М.П.**

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 81 с., рис.28, таб. 11, 13 джерел.

АВТОПОЇЗД, СТІЙКІСТЬ, ГАЛЬМУВАННЯ, АБС, АКТИВНА БЕЗПЕКА, .

Об'єкт дослідження – гальмівна система транспортного засобу категорії N2 із системою активної безпеки.

Мета роботи – аналіз стійкості руху автопоїзда під час гальмування з урахуванням дії пневматичної гальмівної системи та систем активної безпеки.

Методи дослідження – аналітичні, теоретичні та методи математичного і комп'ютерного моделювання.

Гальмівна система автопоїзда є одним із основних елементів, що визначає рівень активної безпеки та стійкості руху під час гальмування. Автопоїзд характеризується складною силовою взаємодією між тягачем і напівпричепом, значною масою та підвищеними вимогами до синхронності роботи гальмівних механізмів. Сучасні автопоїзди оснащуються гальмівними системами з пневматичним приводом, який забезпечує необхідний робочий тиск у магістралях тягача і напівпричепа та дозволяє реалізувати високі гальмівні зусилля. Важливу роль у забезпеченні стійкості відіграють системи активної безпеки ABS, EBS та ESP, що оптимізують розподіл гальмівних сил, запобігають блокуванню коліс і зменшують ризик складання автопоїзда. Гальмівні системи автопоїздів повинні відповідати вимогам стандарту UNECE R13, який регламентує ефективність гальмування та узгодженість роботи гальм тягача і напівпричепа. Порушення роботи пневматичного приводу або асиметрія гальмівних сил можуть призводити до відхилення від траєкторії та втрати стійкості, що зумовлює актуальність дослідження процесів гальмування автопоїздів.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Аналіз систем забезпечення стійкості руху автомобілів та автопоїздів у гальмівному режимі .....	7
1.1 Роль та значення стійкості автопоїздів у сучасних транспортних системах .....	7
1.2 Фактори, що впливають на стійкість автопоїзда під час гальмування .....	9
1.3 Класифікація небезпечних режимів руху автопоїзда в гальмівному режимі .....	13
1.4 Теоретичні підходи до оцінювання стійкості автопоїздів.....	16
1.5 Вплив дорожніх умов на стійкість автопоїзда під час гальмування.....	20
1.6 Системи активної безпеки, що впливають на стійкість автопоїзда .....	26
1.7 Сучасні програмні комплекси та методи моделювання стійкості автопоїздів.....	31
1.8 Узагальнення наукових підходів і прогалини у дослідженнях стійкості автопоїздів..	35
2. Силова взаємодія та розподіл навантажень в автопоїзді під час гальмування .....	37
2.1 Нормальні реакції опорної поверхні на осях автопоїзда.....	39
2.2 Диференціальні рівняння руху автопоїзда .....	49
3. Аналіз розподілу навантажень та критерії стійкості автопоїзда .....	55
3.1 Стійкість руху автопоїзда у гальмівному режимі .....	55
3.2 Дослідження стійкості прямолінійного руху автопоїзда у гальмівному режимі .....	56
3.3 Стійкість кругових рухів автопоїзда у гальмівному режимі .....	60
4. Комп'ютерне моделювання стійкості руху автопоїзда .....	70
4.1 Загальні положення.....	70
4.2 Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда.....	72
4.3 Дослідження гальмівної динаміки автопоїзда з використанням комп'ютерної моделі.....	77
Висновки .....	79
Перелік посилань.....	80

## Висновки

1. У роботі встановлено основні фактори, що впливають на стійкість автопоїзда під час гальмування, зокрема коефіцієнт зчеплення, нерівності покриття, поперечні ухили та перекося осей. Аналіз показав, що навіть невеликі асиметрії гальмівних сил або перекося напівпричепа можуть спричинити відхилення від траєкторії та виникнення ризику складання.

2. Проведено аналіз дії сил у контакті «шина–дорога» та перерозподілу навантажень на осях автопоїзда при гальмуванні. Встановлено, що збільшення сповільнення призводить до зростання навантаження на передню вісь тягача та зменшення — на осі напівпричепа, що знижує ефективність його гальма і може провокувати нестійкість.

3. Розроблено та реалізовано математичну і комп'ютерну модель автопоїзда в ПК Universal Mechanism. Порівняння результатів моделювання показало високий рівень збіжності (похибка < 5 %), що підтверджує коректність моделі та її придатність для дослідження критичних режимів гальмування.

4. Отримані результати моделювання показали, що автопоїзд зберігає стійкість у прямолінійному русі, проте при гальмуванні на криволінійній траєкторії або за наявності перекося осей можливе зростання кута складання до рівня, який становить загрозу стійкості. Таким чином, коректна робота систем ABS/EBS/ESP є критично важливою для безпечної експлуатації автопоїздів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. He, R., & Jing, Z. (2019). Study on braking stability of commercial vehicles: An optimized air brake system. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(5), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1687814019848593>
2. Леонтьєв, Д. М. (2021). Теоретичні основи гальмування багатовісних транспортних засобів з електропневматичною гальмовою системою (Дисертація д.т.н.). ХНАДУ. PDF: [https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Vchena\\_rada/VR\\_64\\_059\\_02/dis\\_Leontiev.pdf](https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis_Leontiev.pdf)
3. Kaneko, T. (2003). A study on the braking stability of articulated heavy vehicles. *JSAE Review*, 24(2), 243–250. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(03\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(03)00007-9)
4. Kaneko, T., Kageyama, I., & Tsunashima, H. (2002). Braking stability of articulated vehicles on highway. *Vehicle System Dynamics*, 37(sup1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/00423114.2002.11666216>
5. Bako, S., Ige, B., Nasir, A., & Musa, N. A. (2021). Stability analysis of a semi-trailer articulated vehicle: A review. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 5(2), 131–140. <https://doi.org/10.30939/ijastech..855733>
6. Lei, T., Wang, J., & Yao, Z. (2021). Modelling and stability analysis of articulated vehicles. *Applied Sciences*, 11(8), 3663. <https://doi.org/10.3390/app11083663>
7. Sun, T., Lee, E., & He, Y. (2016). Non-linear bifurcation stability analysis for articulated vehicles with active trailer differential braking systems. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(3), 688–698. SAE Technical Paper 2016-01-0433. <https://doi.org/10.4271/2016-01-0433>
8. Moreno, G., Manenti, V., Guerero, G., Nicolazzi, L., Vieira, R., & Martins, D. (2018). Stability of heavy articulated vehicles: Effect of load distribution. *Transportation Research Procedia*, 33, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.094>
9. Seluga, K. J., Obert, R. M., & Ojalvo, I. U. (2004). Articulated vehicle yaw stability during braking – A parametric study. SAE Technical Paper 2004-01-2630, SAE Transactions Journal of Commercial Vehicles. <https://doi.org/10.4271/2004-01-2630>

10. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорії M, N, і O стосовно гальмування: ДСТУ UN/ECE R 13-09-2004 (Правила ЕЄК ООН № 13-09:2000, IDT). – [Чинний від 2007-01-04].-К.: Держстандарт України, 2004. – 258. – (Національний стандарт України).

11. Правила №13 ЄЕК ООН. Єдині приписи, що стосуються офіційного затвердження транспортних засобів категорій M, N та Про щодо гальмування. - Додаток 10.

12. Leontiev D., Klimenko V., Mykhalevych M., Don Y., Frolov A. (2020) Simulation of Working Process of the Electronic Brake System of the Heavy Vehicle. In: Palagin A., Anisimov A., Morozov A., Shkarlet S. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1019. Springer, Cham, pp 50-61. (First Online: 18 July 2019) [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25741-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25741-5_6)

13. Simulation of working process of the electronic brake system of the heavy vehicle / D. Leontiev, V. Klimenko, M. Mykhalevych, Y. Don, A. Frolov // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2019: тези доповідей Чотирнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 24 - 26 червня 2019 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. академія наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. - Чернігів : ЧНТУ, 2019. – С. 76 - 79.

14. Богомолів В. О., Леонт'єв Д. М. (2025). Математичне моделювання робочих процесів колісних та гусеничних транспортних засобів : навч. посіб. – ISBN 978-617-8238-74-2

15. Александров Є. Є., Богомолів В. О., Клименко В. І., Леонт'єв Д. М. (2025). Прикладна теорія коливань для студентів автомобільних спеціальностей вищів : навч. посіб. – ISBN 978-617-8238-75-9

16. Shuklinov S. M., Klymenko V. I., Leontiev D. M., Aloksa M. M. (2023). Automobile. Theory and operational properties : study guide.

17. Klymenko V. I., Voronkov O. I., Leontiev D. M., Mykhalievych M. H., Yaryta O. O., Ponikarovska S. V., Borzenko O. P., Fandieieva A. Ye. (2023). Construction and layout of automobiles and internal-combustion engines : study guide. – ISBN 978-617-8009-99-1