

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

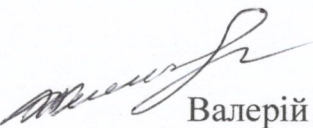
Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС КОЛИВАНЬ
КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ**

Завідувач кафедри док. техн. наук, проф.



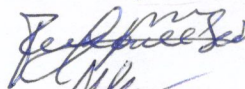
Валерій КЛИМЕНКО

Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.



Михайло ХОЛОДОВ

Керівник док. техн. наук, проф.



Микола МИХАЛЕВИЧ

Студент гр. АА-61-24



Олександр ГОЛОВАНЬ

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. Валерій КЛИМЕНКО

“20” 10 2025 рік

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Головань Олександр Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Дослідження процесу генерації енергії під час коливань кузова автомобіля.

керівник проекту Михалевич Микола Григорович, док. техн. наук, професор.

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

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

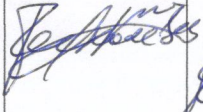

2. Строк подання студентом проекту 18 грудня 2025 року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Дослідження процесу генерації під час коливань кузова автомобіля; 2 Розробка математичної моделі; 3 Імітаційна модель чверть підвіски автомобіля; 4 Результати моделювання; 5 Оцінювання конкурентоспроможності запропонованої конструкції. Висновок. Перелік посилань.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): Титульний аркуш (Слайд 1); Предмет та задачі дослідження (Слайд 2); Огляд конструкцій підвісок з можливістю рекуперації енергії коливань кузова (Слайд 3); Огляд конструкцій підвісок з можливістю рекуперації енергії коливань кузова (Слайд 4); Огляд схем генерації енергії та систем регенерації підвіски (Слайд 5); Конструкційні недоліки рекуперативної підвіски та запропонована конструкція (Слайд 6); Опис рівняння вертикальних коливань чверть підвіски автомобіля (Слайд 7); Математична модель дорожнього профілю та характеристика генератора (Слайд 8); Імітаційна модель чверть підвіски автомобіля (Слайд 9); Результати моделювання (Слайд

10); Оцінювання конкурентоспроможності запропонованої конструкції (Слайд 11); Висновки (Слайд 12).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
оцінювання конкурентоспроможності запропонованої конструкції	Михалевич М. Г., д - ртех. наук, проф.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Дослідження процесу генерації енергії під час коливань кузова автомобіля.	20.10.25	
2	Розробка математичної моделі.	27.10.25	
3	Імітаційна модель чверть підвіски автомобіля.	03.11.25	
4	Результати моделювання.	10.11.25	
5	Оцінювання конкурентоспроможності запропонованої конструкції.	17.11.25	
6	Висновки. Перелік посилань. Додатки.	24.11.25	
7	Оформлення пояснювальної записки.	01.12.25	
8	Підготовка презентації до захисту.	11.12.25	

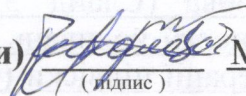
Студент


(підпис)

Олександр ГОЛОВАНЬ

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Микола МИХАЛЕВИЧ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 92 с., 40 рис., 15 табл., 32 джерел, 2 додатка.

Об'єкт дослідження – процес генерації енергії під час коливань кузова автомобіля.

Мета роботи – оцінка ефективності роботи рекуперативного амортизатора в підвісках транспортних засобах.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було досліджено процес генерації енергії на рекуперативних підвісках з різниці конструкційними особливостями та проаналізовані математичні моделі доріг і підвісок з їх параметрами. Визначено конструкційні недоліки рекуперативних підвісок та розроблена запропонована конструкція. Розроблено математичні моделі вертикальних коливань чверть підвіски автомобіля, модель дорожнього профілю на основі білого шуму та визначено характеристику генератора. Побудовано імітаційну модель рекуперативної чверть підвіски автомобіля з подальшою верифікацією з використанням синусоїдального та випадкового профіля дороги. Продемонстровані результати моделювання рекуперованої енергії із заданими параметрами. Проведено оцінювання конкурентоспроможності п'яти автомобілів категорії M₁ класу седан із стандартною підвіскою та прототипом рекуперативної підвіски.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані при подальшому дослідженні та аналізу і використані в інших кваліфікаційних роботах, а також при проектуванні регенеративних амортизаторів, чи модернізації вже існуючих.

ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ПІДВІСКА, РЕКУПЕРАТИВНИЙ АМОРТИЗАТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Дослідження процесу генерації енергії під час коливань кузова автомобіля.....	7
1.1 Огляд конструкцій підвісок з можливістю рекуперації енергії коливань кузова.....	7
1.2 Аналіз математичних моделей дороги та підвіски автомобіля.....	20
1.3 Огляд теоретичних досліджень підвісок з рекуперацією енергії коливань кузова.....	26
1.3.1 Характеристики дорожніх нерівностей.....	29
1.3.2 Динамічні характеристики автомобіля.....	30
1.4 Недоліки конструкцій рекуперативних підвісок.....	31
1.4.1 Запропонована конструкція рекуперативної підвіски.....	32
2. Розробка математичної моделі.....	35
2.1. Опис рівняння вертикальних коливань чверть підвіски автомобіля.....	35
2.2 Математична модель основного рівняння вертикальних коливань підвіски автомобіля.....	36
2.3 Математична модель дорожнього профілю.....	38
2.4 Характеристика генератора.....	41
3. Імітаційна модель чверть підвіски автомобіля.....	43
3.1 Розробка імітаційної моделі.....	43
3.2 Верифікація імітаційної моделі синусоїдального профілю дороги.....	45
3.3 Верифікація імітаційної моделі з випадковим профілем дороги.....	48
4. Результати моделювання.....	49
4.1 Загальні висновки результатів моделювання.....	51
5. Оцінювання конкурентоспроможності запропонованої конструкції.....	53
Висновки.....	68
Список літератури.....	69
Додаток А Продовження огляду конструкцій підвісок з можливістю рекуперації енергії коливань кузова.....	72
Додаток Б Презентаційний матеріал.....	80

ВСТУП

Популярною на сьогоднішній день залишається тенденція у зменшенні споживання палива та викидом вихлопних газів, як і у розвитку електричних транспортних засобів. Дослідники звернули увагу на звичну підвіску, де втрачена вібраційна кінетична енергія кузова автомобіля не давала спокою, що змусило дослідників запропонувати інноваційне рішення з використанням рекуперативних амортизаторів. Кінетична енергія, що перетворювалась на корисну електричну енергію, яка в свою чергу використовувалась на заряд акумуляторів і живлення бортових систем. Потенціал рекуперації енергії підвіскою автомобіля за оцінками вчених варіювався від десятків до тисяч Вт на один амортизатор залежно від категорії транспортного засобу, дорожніх умов та швидкості руху. Технологія рекуперативних амортизаторів покращує становище енергетичних та екологічних проблем, збільшує комфорт та керованість транспортного засобу через її унікальну можливість зміни амортизаційних характеристик.

Завдання кваліфікаційної роботи полягає в оцінці ефективності роботи рекуперативного амортизатора в підвісці транспортного засобу шляхом розробки математичної моделі підвіски і дороги, визначенню рекупераційного пристрою автомобіля і побудові імітаційної моделі рекупераційної чверть підвіски автомобіля в середовищі «*Matlab Simulink*». На основі результатів моделювання побудувати графіки рекуперованої енергії за різних режимів руху та параметрів підвіски. Провести оцінювання конкурентоспроможності транспортних засобів категорії M_1 з використанням стандартних підвісок та рекуперативних прототипів.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі після дослідження існуючих конструкцій рекуперативних підвісок, визначенню конструкційних недоліків, розроблена запропонована конструкція і на основі аналізу існуючих математичних моделей, розроблено математичну модель вертикальних коливань чверть підвіски, дорожній профіль на основі білого шуму та визначені характеристики генератора. Складена та побудована імітаційна модель за допомогою програмного забезпечення «*Matlab*» та його внутрішнього доповнення «*Simulink*», що дало можливість провести розрахунки з подальшим виведенням результатів. Визначено принцип роботи, послідовність передачі сигналів та побудовано графіки на основі синусоїдального профілю відображення швидкості кузова автомобіля, відображення нерівностей дороги та реакції підвіски, відображення рекуперованої енергії. Побудовано графіки на основі білого шуму модель дорожнього профілю категорії А, відображення нерівностей дороги та реакції підвіски. За результатами моделювання побудовано графіки рекуперованої енергії за різними режимами руху та параметрами підвіски, які дозволяють оцінити ефективність рекуперації енергії транспортних засобів. Розроблено оцінювання конкурентоспроможності транспортних засобів категорії М₁ класу седан з використанням стандартних підвісок та рекуперативних прототипів, що дає змогу обрати найбільш збалансований автомобіль для бажаної експлуатації в майбутньому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки з дипломного проектування для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Упоряд. В.М.Алексєєнко, С.Й. Ломака, С.М. Шуклінов, М.Ю. Залогін. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 99 с.
2. Record-breaking racing cars Kharkiv National automobile and highway university (laboratory of racing cars Khadi): popular science handbook of racing cars / A. M. Turenko, V. I. Klymenko, I. V. Lukashev, O. O. Chernyshov ; Kharkiv National automobile and highway university. - Kharkiv : [Brovin O.], 2023. – 100 p.
3. <https://www.golos.com.ua/article/55600>
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/Лабораторія_швидкісних_автомобілів —
_ХАДІ
5. <https://af.khadi.kharkov.ua/chairs/avtomobiliv-im-ab-gredeskula/laboratorija-shvidkisnikh-avtomobiliv/>
6. <https://af.khadi.kharkov.ua/en/chairs/department-of-automobiles/racing-cars-laboratory-named-after-vk-nikitin/istorija-lsha/istorija-lsha/>
7. <https://www.rbc.ua/rus/news/dvigunami-vid-vinishchuvachiv-ta-vertolotiv-1710302147.html>
8. <https://autogid.pro/history/ukrayinski-elektrokary-hadi-11e/>
9. https://uk.wikipedia.org/wiki/Підвіска_автомобіля
10. <https://avtoindustriya.com/blog/uk/zalezna-ta-nezalezna-pidviska/?srsltid=AfmBOopqD3vIKuxgj8HtJbj3-indVjbgghnF83u8-5cpc2Um0CDzjmhl>
11. <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilja-single/rozdil27-pryznachennja-budova-i-vydy-pidvisok-avtomobilja/punkt-pidviska-na-dvoh-poperechnyh-vazheljah>
12. Mohamed A.A. Abdelkareem, Lin Xu, Mohamed Kamal Ahmed Ali, Ahmed Elagouz, Jia Mi, Sijing Guo, Yilun Liu, Lei Zuo, Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review, Applied Energy, Volume 229, 2018, Pages 672-699, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.030>

13. Xu, Yijun. Design and Characterization of Regenerative Shock Absorbers based on Electrohydrostatic Actuation: Doctoral Dissertation. – Politecnico di Torino, 2018. – 168 p. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:189997396>
14. Zheng, Peng & Wang, Ruichen & Gao, Jingwei. (2019). A Comprehensive Review on Regenerative Shock Absorber System. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. 2020. 225-246. <https://doi.org/10.1007/s42417-019-00101-8>
15. Zheng, Peng & Gao, Jingwei & Wang, Ruichen & Dong, Jianguo & Diao, Jincheng. (2018). Review on the Research of Regenerative Shock Absorber. <https://doi.org/10.23919/IConAC.2018.8749044>
16. Zhanwen Wang, Tianming Zhang, Zutao Zhang, Yanping Yuan, Yujie Liu, A high-efficiency regenerative shock absorber considering twin ball screws transmissions for application in range-extended electric vehicles, *Energy and Built Environment*, Volume 1, Issue 1, 2020, Pages 36-49, ISSN 2666-1233, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2019.09.004>
17. Bowen, Lincoln & Vinolas, Jordi & Olazagoitia, JoseLuis & Otero, Javier. (2019). An Innovative Energy Harvesting Shock Absorber System Using Cable Transmission. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 24. 689-699. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2019.2892824>
18. Fu, C., Lu, J., Ge, W., Tan, C., Li, B. (2023). A Review of Electromagnetic Energy Regenerative Suspension System & Key Technologies. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 135(3), 1779-1824. <https://doi.org/10.32604/cmes.2022.023092>
19. Guo, Sijing & Xu, Lin & Liu, Yilun & Guo, Xuexun & Zuo, Lei. Modeling and Experiments of a Hydraulic Electromagnetic Energy-Harvesting Shock Absorber, in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 22, no. 6, pp. 2684-2694, Dec. 2017 <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2760341>
20. Lv, X., Ji, Y., Zhao, H., Zhang, J., Zhang, G., & Zhang, L. (2020). Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System. *Energies*, 13(2), 441. <https://doi.org/10.3390/en13020441>

21. Wang, R., Gu, F., Cattley, R., & Ball, A. D. (2016). Modelling, Testing and Analysis of a Regenerative Hydraulic Shock Absorber System. *Energies*, 9(5), 386. <https://doi.org/10.3390/en9050386>

22. Методичні вказівки до виконання дипломної роботи магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». Освітня програма «Автомобілебудування». Розділ дипломного проекту: «Визначення конкурентоспроможності розробки» / Розробив доц. Михалевич М.Г. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 10с.

23. <https://www.auto-data.net/en/mercedes-benz-c-class-w206-c-200-204hp-eq-boost-9g-tronic-42344>

24. [https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Audi/137280/Audi-A6-\(C8-2023\)-55-TFSI-quattro-S-tronic.html](https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Audi/137280/Audi-A6-(C8-2023)-55-TFSI-quattro-S-tronic.html)

25. <https://www.auto-data.net/en/bmw-5-series-sedan-g30-lci-facelift-2020-540i-333hp-mild-hybrid-steptronic-40120>

26. https://auto.ria.com/uk/auto_mercedes_benz_c_class_38182570.html

27. https://auto.ria.com/uk/auto_audi_a6_38936491.html

28. https://auto.ria.com/uk/auto_bmw_5_series_38982003.html

29. <https://www.youtube.com/watch?v=FsDhSIPGP6w>

30. <https://www.youtube.com/watch?v=IZEfnNk6g7s>

31. https://www.youtube.com/watch?v=1KO2v_hcM9g

32. Wang, T., Wang, B., Luo, Y., Li, H., Rao, J., Wu, Z., & Liu, M. (2019). Accurate Measurements of the Rotational Velocities of Brushless Direct-Current Motors by Using an Ultrasensitive Magnetoimpedance Sensing System. *Micromachines*, 10(12), 859. <https://doi.org/10.3390/mi10120859>