

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
МАГІСТРА**

**АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТІВ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДРЕСОРЮВАННЯ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ  $M_1$**

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

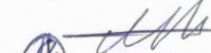
Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.

Керівник, д-р. техн. наук, проф.

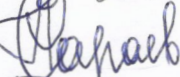
Здобувач, гр. АА-61-24



Валерій КЛИМЕНКО



Михайло ХОЛОДОВ



Олексій САРАЄВ



Максим ЛИФИРЕНКО

Харків – 2025

# Харківський національний автомобільно-дорожній університет

( повне найменування вищого навчального закладу )

Факультет автомобільний

Кафедра автомобілів


Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузь знань \_\_\_\_\_

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри автомобілів,  
  
проф. Клименко В.І.

“ 20 ” 10 2025 рік

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Лифиренко Максим Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Аналіз елементів пневматичної системи підресорювання транспортних засобів категорії М1

керівник проєкту Олексій Вікторович Сараєв, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом ректора ХНАДУ від «08» жовтня 2025 року №155

2. Строк подання студентом проєкту 12.12.2025 року

3. Вихідні дані до проєкту: -

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Особливості будови пневматичної системи підресорювання; 2. Особливості проектування пневматичної системи підресорювання; 3. Дослідження конструктивних особливостей систем пневматичного підресорювання; 4. Дослідження системи автономного адаптивного керування; Висновки; Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу: -

## 6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання: 01.09.2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Особливості будови пневматичної системи підресорювання	01.09.2025-11.09.2025	
2	Особливості проектування пневматичної системи підресорювання	14.09.2025-21.09.2025	
3	Дослідження конструктивних особливостей систем пневматичного підресорювання	21.10.2025-28.10.2025	
4	Дослідження системи автономного адаптивного керування	29.10.2025-15.11.2025	
8	Висновки	17.11.2025-28.11.2025	
9	Оформлення пояснювальної записки	27.11.2025-30.11.2025	
10	Підготовка матеріалів до захисту	04.12.2025-10.12.2025	

Студент

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

(підпис)

**Максим ЛИФИРЕНКО**

(прізвище та ім'я)

**Олексій САРАЄВ**

(прізвище та ім'я)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 99 с., рис.48, табл.1, 20 джерел.

ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ ПІДРЕСОРЮВАННЯ, ПНЕВМАТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ,  
СИСТЕМА НАКАЧУВАННЯ, КОМПРЕСОР, АМОРТИЗАТОР.

Об'єкт дослідження –пневматична система підресорювання транспортних засобів категорії  $M_1$ .

Мета роботи – дослідження пневматичних систем підресорювання транспортних засобів категорії  $M_1$

Методи дослідження – аналітичні методи досліджень пневматичних систем підресорювання транспортних засобів категорії  $M_1$ .

Актуальність використання пневматичних систем зумовлена постійним зростанням проблем, пов'язаних із якістю дорожнього покриття як у світі, так і в Україні, а також підвищенням потреби людей у швидкому та комфортному пересуванні на значні відстані. Важливим чинником виступає й посилення конкуренції на автомобільному ринку, що спричинене зростанням кількості транспортних засобів та ускладненням їх конструкцій.

Сучасні тенденції розвитку автомобільної промисловості вимагають підвищення ефективності, надійності та безпеки транспортних систем. У цьому контексті пневматичні системи відіграють ключову роль, оскільки забезпечують стабільність руху, зручність керування та адаптацію автомобіля до змін дорожніх умов. Їх використання сприяє зниженню зносу деталей ходової частини, підвищенню довговічності транспортних засобів і комфорту пасажирів. Водночас впровадження інтелектуальних пневматичних систем відкриває нові перспективи для створення «розумного транспорту» майбутнього, який здатен самостійно реагувати на зміну навантажень і стан дорожнього полотна.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані в навчальному процесі і при проектуванні нових автомобілів.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Особливості будови пневматичної системи підресорювання .....	7
1.1 Типи пневматичних підвісок .....	7
1.2 Основні елементи пневматичної системи підресорювання .....	9
1.3 Конструкція пневматичних елементів .....	9
1.4 Особливості конструкції амортизаторів .....	17
1.5 Елемент подачі повітря.....	24
1.6 Датчики пневматичної системи підресорювання.....	29
2 Особливості проектування пневматичної системи підресорювання .....	33
2.1 Розрахунок системи накачування пневматичних елементів.....	33
2.2 Гідропневматична підвіска <i>Hydractive</i> .....	35
3. Дослідження конструктивних особливостей систем пневматичного підресорювання.....	41
3.1 Гідропневматична підвіска <i>Active Body Control</i> .....	42
3.2 Пневматична підвіска <i>Electronic Air Suspension (EAS)</i> .....	44
3.3 Пневматична підвіска <i>Adaptive Air Suspension</i> .....	47
4. Дослідження системи автономного адаптивного керування.....	61
4.1 Варіант системи з амортизатором змінної в'язкості.....	61
4.2 Варіант системи автономного адаптивного управління із активною системою високого тиску.....	65
4.3 Розрахунок пневматичної підвіски автомобіля .....	71
Висновки.....	81
Перелік посилань .....	83
Додаток А Презентаційний матеріал до кваліфікаційної роботи магістра.....	85

## ВИСНОВКИ

У ході дослідження розділів роботи було здійснено ґрунтовний аналіз трьох основних напрямків: особливостей будови пневматичної системи підресорювання, проєктування такої системи, дослідження конструктивних особливостей систем пневматичного підресорювання. На підставі опрацювання теоретичних положень, моделювання, аналізу й практичних досліджень можна зробити такі висновки:

По-першому, пневматична система підресорювання демонструє значний потенціал для підвищення комфорту руху й динамічної стабільності транспортного засобу. Так, сучасні оглядові роботи підкреслюють, що системи з повітряними пружинами (*air springs*) дозволяють змінювати жорсткість і висоту підресореної маси залежно від навантаження й дорожніх умов, що дає змогу краще відокремлювати кузов від нерівностей дороги. У той же час, нерівномірності в динаміці, підвищені витрати на встановлення та обслуговування, підвищена складність конструкції й вимоги до надійності залишаються слабкими місцями таких систем. Таким чином, у бюджетному чи масовому сегменті застосування пневматичного підресорювання потребує дуже чіткої економічної обґрунтованості, тоді як у преміум-сегменті чи спеціальних транспортних засобах — це вже доведена технологія.

По-друге, в розділі про проєктування системи підресорювання підкреслено, що ключовими аспектами є вибір геометрії й параметрів пневмопружини (напряга газу, робочий об'єм, матеріали), моделювання жорсткісно-демпфуючих характеристик, а також інтеграція з іншими підсистемами транспортного засобу (осі, кузов, система керування). Наприклад, дослідження показали: *“Mechanism and Optimization of a Novel Automobile Pneumatic Suspension Based on Dynamic Analysis”* визначає нелінійну жорсткість пневмопружини та вплив параметрів на її динаміку. Це вказує на необхідність комплексного підходу — не лише «поставити пневмопружину», а проєктувати систему як сукупність підресореної маси, колеса, крокових приводів

(якщо активне підресорювання) та контролю. У своїй роботі ви також досліджували конструктивні рішення підресорювання — що підтверджується сучасною літературою. Наприклад, “*Semi-Active Suspension Design for Truck Using Pneumatic Spring Joining MR Fluid Damper Based on Neural Networks Controller*” показує, що інтеграція пневмопружины з MR-демпфером дає значний приріст комфорту та стабільності. З цих міркувань видно, що проектування таких систем має враховувати як механічні, так і керуючі аспекти, а також витрати й ресурс.

По-третє, аналіз конструктивних особливостей систем пневматичного підресорювання (та їх дослідження) підтверджує важливість часткового переходу від пасивного до напівавтоматичного чи активного режиму роботи. Наприклад, систематичний огляд “*The Evolution of Vehicle Pneumatic Vibration Isolation: A Systematic Review*” показує, що пневматичні системи застосовуються не тільки як пасивні елементи, але й як частина активного управління підресореною масою. Водночас, контрольні алгоритми й моторизація підресорювання значно ускладнюють систему й підвищують енергоспоживання.

Загалом, результати роботи підтверджують, що проектування сучасної пневматичної системи підресорювання в поєднанні з активним рульовим управлінням має великий потенціал для підвищення як комфортності руху, так і динамічної безпеки транспортного засобу. Виконані дослідження конструктивних аспектів, моделювання й вибір керуючих стратегій створюють міцну основу для практичної реалізації. Разом з тим, слід врахувати, що економічна доцільність, складність системи, маса, енергоспоживання та надійність — це ключові бар’єри для широкого впровадження таких рішень. Крім того, зростає значення інтеграції із сенсорами, керуючими алгоритмами, іншими підсистемами автомобіля — що відкриває простір для подальших досліджень.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Akolbire Atindana, V., Xu, X., Nyedeb, A. N., Quaisie, J. K., Nkrumah, J. K., & Assam, S. P. (2023). The evolution of vehicle pneumatic vibration isolation: A systematic review. *Shock and Vibration*, Article 1716615. <https://doi.org/10.1155/2023/1716615>.
2. Cheng, L., Kang, Z., & Zeng, J. (2023). Analysis of the application of the air suspension system of pure electric vehicle. *Theoretical and Natural Science*, 12.
3. Dindorf, R. (2025). Comprehensive review comparing the development and challenges in the energy performance of pneumatic and hydropneumatic suspension systems. *Energies*, 18(2), 427. <https://doi.org/10.3390/en18020427>.
4. Ferhath, A. A., & Kasi, K. (2023). A review on various control strategies and algorithms in vehicle suspension systems. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 20(3), 10720-10735.
5. Gad, A. S., & El-Zomor, H. M. (2024). Semi-active suspension design for truck using pneumatic spring joining MR fluid damper based on neural networks controller. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH*, 1.
6. Liu, X., & Li, Y. (2025). Review of research on vehicle hydro-pneumatic suspension technology. *Journal of Southwest Jiaotong University / Xinan Jiaotong Daxue Xuebao*, 60(2), 374-394.
7. Moheyeldeen, M. M., et al. (2021). Mechanism and optimization of a novel automobile pneumatic suspension based on dynamic analysis. *Electronics*, 10(18), 2232. <https://doi.org/10.3390/electronics10182232>.
8. Nogowczyk, P., Szcześniak, G., Konieczny, Ł., & Burdzik, R. (2015). Non-conventional suspension systems in heavy special-purpose trucks. *Vibroengineering Procedia*.
9. Ostasevicius, V., Sapragonas, J., Rutka, A., & Staliulionis, D. (2002). Investigation of active car suspension with pneumatic muscle. SAE Technical Paper 2002-01-2206.

10. Pan, K. Y., Hsu, L. T., Lee, L. W., Chiang, H. H., Li, I. H., & Wang, W. Y. (2019). Development and control of active vehicle suspension systems using pneumatic muscle actuator. *Applied Sciences*, 9(20), 4453. <https://doi.org/10.3390/app9204453>.
11. Pfeffer, P., & Harrer, M. (Eds.). (2017). *Steering Handbook*. Springer.
12. Savaresi, S. M., & Tanelli, M. (2010). *Active Braking Control Systems Design for Vehicles*. Springer.
13. Nhu, A. N., Le, N.-A., Li, S., & Truong, T. D. V. (2024). Physics-guided reinforcement learning system for realistic vehicle active suspension control. *arXiv*.
14. Li, G., Gan, Y., Liu, Q., Xu, H., Chen, D., Zhong, L., & Deng, J. (2024). Performance analysis of vehicle magnetorheological semi-active air suspension based on S-QFSMC control. *Frontiers in Materials*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1358319>.
15. Алюкса М. М., Алексеєнко В. М. (1990). *Теорія експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів в прикладах і завданнях*
16. Шуклінов С.М. (2022). *Автомобіль. Теорія та експлуатаційні властивості : навч. посіб.* ISBN 978-617-8009-77-9.
17. Алексеєнко В.М., Ломака С.Й., Шуклінов С.М., Залогін М.Ю. (2018). *Методичні вказівки з дипломного проектування для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*
18. 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
19. 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
20. Shuklinov S. M., Klymenko V. I., Leontiev D. M., Aloksa M. M. (2023). *Automobile. Theory and operational properties : study guide*.