

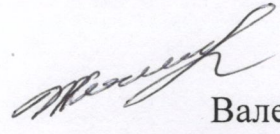
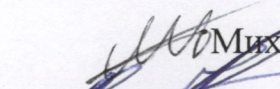

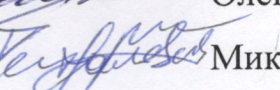
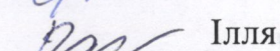

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРИСКОРЮВАЛЬНОГО
КЛАПАНУ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ ГАЛЬМ ТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ КАТЕГОРІЇ N₃**

Завідувач кафедри д-р техн. наук, проф.		Валерій КЛИМЕНКО
Нормоконтролер канд. техн. наук, доц.		Михайло ХОЛОДОВ
Керівник д-р техн. наук, проф.		Дмитро ЛЕОНТЬЄВ
Консультант канд. техн. наук, доцент		Олег БОГАТОВ
Консультант д-р техн. наук, проф.		Микола МИХАЛЕВИЧ
Студент гр. АА-61-24		Ілля ВОРОНІН

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

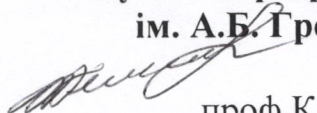
(шифр і назва)

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

Воронін Ілля Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Дослідження робочого процесу прискорювального клапану пневматичного приводу гальм транспортного засобу категорії N₃
керівник проекту Леонтьєв Дмитро Миколайович, д-р техн. наук, професор.

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

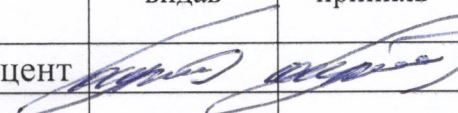
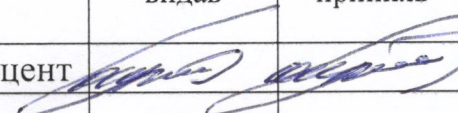
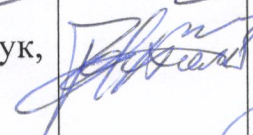

затверджені наказом ректора ХНАДУ від “15.09” 2025 року №

2. Строк подання студентом проекту 11 грудня 2025 року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Аналіз гальмового керування транспортних засобів категорії N₃; 2 Робочий процес прискорювального клапану; 3 Особливості моделювання прискорювального клапану в складі пневматичного приводу; 4 Реалізація математичної моделі та результати моделювання; 5 Охорона праці; 6 Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень. Висновок. Перелік посилань.

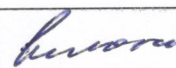

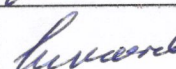
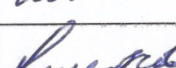
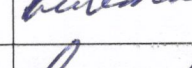
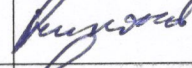
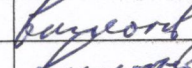
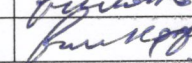
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Богатов О.І., канд. тех. наук, доцент		
Оцінка економічної ефективності розробки	Михалевич М. Г., д - ртех. наук, проф		

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Аналіз гальмового керування транспортних засобів категорії N ₃ .	06.09.25	
2	Робочий процес прискорювального клапану.	19.09.25	
3	Особливості моделювання прискорювального клапану в складі пневматичного приводу.	20.09.25	
4	Реалізація математичної моделі та результати моделювання.	30.10.25	
5	Охорона праці. Економічне обґрунтування. доцільності прийнятих рішень.	11.10.25	
6	Висновки. Перелік посилань. Додатки.	25.11.25	
7	Оформлення пояснювальної записки.	28.11.25	
8	Підготовка презентації до захисту.	05.12.25	

Студент


(підпис)

Воронін І.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Леонт'єв Д.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра має 78 с., 27 рисунків, 1 додаток.

Об'єкт дослідження робочий процес прискорювального клапану пневматичного приводу гальм транспортного засобу категорії N_3 .

Мета роботи удосконалення робочого процесу прискорювального клапану пневматичного приводу гальм транспортного засобу категорії N_3 .

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження пневматичного гальмового приводу транспортних засобів категорії N_3 з метою підвищення його швидкодії та ефективності. Проведено аналіз схем гальмового керування та пневматичних апаратів, у яких застосовується прискорювальний клапан, визначено його функціональне призначення та вплив на процес передавання тиску в гальмових магістралях. Показано, що використання прискорювального клапана є доцільним для зменшення затримок спрацювання гальм у важких вантажних автомобілях.

У роботі елементи пневматичного приводу представлені у вигляді ДЄ-ланок, на основі чого побудовано математичну модель прискорювального клапана та гальмового приводу в цілому. Реалізація моделі в середовищі *MATLAB/Simulink* дала змогу дослідити перехідні процеси наповнення і спорожнення гальмових камер та виконати порівняльний аналіз роботи системи з прискорювальним клапаном і без нього. Отримані результати підтвердили підвищення швидкодії та стабільності гальмового приводу, а також практичну цінність розробленої моделі для подальшої оптимізації пневматичних гальмівних систем транспортних засобів категорії N_3 .

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз гальмового керування транспортних засобів категорії N_3	7
1.1 Схеми пневматичних гальмівних систем автотранспорту	7
1.2 Аналіз апаратів, в яких застосовується прискорювальний клапан....	9
1.2.1 Прискорювальний клапан	9
1.2.2 Регулятор гальмівних сил	10
1.2.3 Електро-пневматичний модулятор регулювання тиску в гальмовому приводі транспортного засобу.....	12
1.3 Особливості розрахунку пневматичного приводу гальм.....	14
2 Робочий процес прискорювального клапану	23
2.1 Принцип дії прискорювального клапану.....	23
2.2 Математична інтерпретація прискорювального клапану	24
3 Особливості моделювання прискорювального клапану в складі пневматичного приводу.....	27
3.1 Математичний опис робочого процесу прискорювального клапану.....	27
3.2 Математичний опис коливання прискорювального клапана при наповненні або спорожненні пневматичного приводу	29
4 Реалізація математичної моделі та результати моделювання	31
4.1 Побудова блок-схем імітаційної моделі пневматичного приводу...	31
4.2 Результати імітаційного моделювання роботи пневматичного приводу гальм	37
4.3 Порівняння результатів моделювання роботи пневматичного привода з прискорювальним клапаном та без нього.....	43
5 Охорона праці.....	50
5.1 Загальні положення.....	50
5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	50
5.2.1 Підвищений тиск у пневматичній системі	50

	5
5.2.2 Механічні небезпеки при монтажі та обслуговуванні	51
5.2.3 Електричний струм	51
5.2.4 Підвищений рівень шуму	52
5.2.5 Недостатнє освітлення та неправильна організація робочого місця.....	52
5.3 Вимоги до організації робочого місця.....	53
5.4. Засоби індивідуального захисту	55
5.5. Безпека під час проведення експериментів.....	58
5.6. Пожежна безпека та дії у надзвичайних ситуаціях	60
5.7 Перевірка безпеки роботи пневматичної системи та розрахунок вентиляції приміщення	62
5.8. Висновки щодо охорони праці	64
6 Економічне обґрунтування. доцільності прийнятих рішень	66
6.1. Обґрунтування необхідності впровадження розробки	66
6.2. Порівнювані альтернативи.....	66
6.3. Аналіз конкурентоспроможності розробки.....	66
6.4. Економічний ефект від впровадження найкращої альтернативи ...	72
6.5. Висновок до розділу	73
Висновки	74
Перелік літературних джерел	75
Додаток А Презентаційний матеріал	79

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження пневматичного гальмового приводу транспортних засобів категорії N_3 з акцентом на ролі прискорювального клапана та його впливі на швидкодію системи. Аналіз схем гальмового керування дозволив визначити основні закономірності передавання тиску, виявити причини затримок сигналу та обґрунтувати доцільність застосування апаратів, що скорочують час реакції приводу. Окремо розглянуто пневматичні апарати з прискорювальним клапаном, їх конструктивні особливості та вплив на формування тиску під час гальмування.

Елементи пневматичного приводу були представлені у вигляді ДЄ-ланок, що дало можливість формалізувати фізичні процеси та створити узгоджену математичну основу для побудови моделі. Інтерпретація прискорювального клапана як ДЄ-ланки дозволила детально описати його робочий процес і пояснити закономірності швидкого вирівнювання тиску при гальмуванні.

У математичній моделі, реалізованій у *MATLAB/Simulink*, враховано геометрію магістралей, втрати тиску та динаміку клапанних елементів. Модель коректно відтворює перехідні процеси наповнення й спорожнення гальмової камери та забезпечує можливість аналізу впливу параметрів на швидкодію системи.

Результати імітаційних досліджень підтвердили, що прискорювальний клапан істотно зменшує час наповнення гальмових камер, стабілізує перехідні процеси та покращує загальну реакцію гальмового приводу, особливо в системах із довгими магістралями. Узагальнення результатів доводить, що прискорювальний клапан є ефективним засобом підвищення якості гальмового керування, а розроблена модель може бути використана для подальших досліджень і оптимізації конструкцій пневматичних гальмівних систем.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богомолов, В. О., Клименко, В. І., Леонтьєв, Д. М., Ужва, А. В. (2025). Історія інженерної діяльності. Розвиток автомобілебудування: навчальний посібник.
2. Леонтьєв Д. М. Серікова Є. А., Бикадоров А. В., Дон Є. Ю. (2012) Аналіз та вибір принципів керування електропневматичними модуляторами робочої гальмівної системи автомобілів. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, (60), 67 – 72.
3. Leontiev, D., Savchenko, Y., Harmash, A., Suhomlyn, O., & Sinelnik, D. (2022). On the issue of using expenditure functions in simulation of pneumatic links of the “throttle–capacity” type. *Automobile Transport*, (51), 43–57. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2022.51.0.05>
4. Леонтьєв, Д. М. (2021). *Теоретичні основи гальмування багатовісних транспортних засобів з електропневматичною гальмовою системою* (Дисертація доктора технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет).
5. Леонтьєв Д. М. (2013) Вплив алгоритмів роботи автоматичних систем на ефективність гальмування транспортного засобу. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, (61-62), 158-161.
6. Леонтьєв Д. М., Рудих Л. А., Бикадоров А. В. (2014) Визначення поздовжньої реалізованої сили зчеплення автомобільного колеса з опорною поверхнею по крутильній деформації шини та її жорсткості. *Журнал "Автомобільна промисловість"*, **10**
7. Леонтьєв Д. М., Смирнова Н. В. (2014) Узагальнення рівнянь руху автомобілів для розрахунку швидкості вільного руху. *Автомобільний транспорт*, (34), 44-48.
8. Леонтьєв Д. М., Смирнова Н. В. (2014) Аналіз режимів руху у завданнях проектування та експлуатації автомобільних доріг. *Наукововиробничий журнал «Автошляховик України»*, 5 (241), 23-25.

9. Леонтьєв Д. М. (2015) Про розрахунковий спосіб визначення висоти координати центру ваги типових автомобілів. *Автомобільний транспорт*, 37, 101 – 107.
10. Туренко, А. Н., Клименко, В. И., Богомолов, В. А., Рижих, Л. А., Леонтьєв, Д. М., Красюк, А. Н., Михалевич, М. Г. (2015). Реалізація інтелектуальних функцій в електронно-пневматичному гальмівному керуванні транспортними засобами.
11. Leontiev, D., Klimenko, V., Mykhalevych, M., Don, Y., & Frolov, A. (2019). Simulation of working process of the electronic brake system of the heavy vehicle. In *International scientific-practical conference*. Springer International Publishing. 1019, 50-61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25741-5_6
12. Леонтьєв, Д. М. (2011). *Системний підхід до створення автоматизованого гальмівного керування транспортних засобів категорій М₃ та N₃*. (Дисертація кандидата технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет).
13. Туренко, А. Н., Клименко, В. И., Рижих, Л. А., Леонтьєв, Д. М., Красюк, А. Н. (2012). *Основи створення та дослідження електронно-пневматичного гальмівного керування транспортних засобів*. Монографія.
14. Александров, С. С., Богомолов, В. О., Клименко, В. И., & Леонтьєв, Д. М. (2025). *Прикладна теорія коливань для студентів автомобільних спеціальностей вищів: навчальний посібник*.
15. Богомолов, В. О., & Леонтьєв, Д. М. (2025). *Математичне моделювання робочих процесів колісних та гусеничних транспортних засобів: навчальний посібник*.
16. Shuklinov S.M., Klymenko V.I., Leontiev D.M., Aloksa M.M. (2023). *Automobile. Theory and operational properties: study guide*. ISBN 978-617-8238-19-3.
17. Туренко, А. М., Клименко, В. И., Богомолов, В. О., Леонтьєв, Д. М., Михалевич, М. Г., & Куріпка, О. В. (2020). *Розрахунок та дослідження*

взаємодії структурних модулів електропневматичного гальмового приводу.
Монографія.

18. Леонтьєв Д. М., Туренко А. Н., Ломака С. І., Рудих Л. А., Бикадоров А. В. (2011) Дослідження кочення автомобільного колеса з максимальною ефективністю в гальмівному режимі. *Автомобільний транспорт* (29), 23-28.

19. Рижих, Л.О., Ломака, С.Й., Леонтьєв, Д.М., Красюк, О.М., Чебан, А. (2010). Моделювання динамічної зміни тиску на виході з ргс на основі його статичної характеристики при зміні вертикальних навантажень на осях транспортного засобу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (2), 89–92.

20. Туренко, А. М., Клименко, В. І., Рижих, Л. О., Ломака, С. Й., Леонтьєв, Д. М. (2006). Сучасні електронні гальмівні системи автомобілів. *Вісник КДПУ*. (2). 64-66.

21. Клименко, В. І., Ломака, С. Й., Рижих, Л. О., & Туренко, А. М. (2006). Аналіз алгоритмів регулювання гальмівних сил регулятором з електронним керуванням. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*, 4 (39), 26-35.

22. Leontiev, D., & Don, Y. (2019). Обґрунтування раціонального закону зміни тиску в електропневматичному гальмовому приводі під час екстреного гальмування. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, (84), 21-21.

23. Рижих, Л. О., Леонтьєв, Д. М., & Куріпка, О. В. (2020). Щодо питання моделювання електропневматичного гальмового приводу. *Науково-практична конференція «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проєктування, дизайн та технологічна експлуатація»*. 15-16.

24. Леонтьєв Д.М., Серикова Е.А., Быкадоров А.В., Дон Е.Ю. (2012). Аналіз та вибір принципів керування електропневматичними модуляторами робочої гальмівної системи автомобілів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*. (60). 67 – 72.

25. Леонтьєв, Д. М., and О. В. Крамський. (2010): *Програма розрахунку пневматичних гальмівних приводів двохвісних транспортних засобів*. Авторське свідоцтво 33767.

26. Рижих, Л. А., Леонтьєв, Д. М. (2011). Особливості електронно-пневматичної гальмівної системи транспортних засобів. *Автомобільний транспорт*, (29), 68-70.

27. Tovt, V., Leontiev, D., & Malyi, V. (2025). Formulation of the problem of topology optimization of automobile and agricultural machinery structures. *Automobile Transport*, (56), 19–28. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2025.56.0.03>

28. WABCO. (2016). *Systems and components for commercial transport* (Каталог № 815 080 003 3)

29. WABCO. (2007) *EBS System and functional description*. (Каталог № 815 080 015 3)

30. Богомолів, В. О., Клименко, В. І., Леонтьєв, Д. М., Савченко, Є. Л., Гармаш, А. А. (2020). Щодо питання використання витратних функцій під час моделювання пневматичних ДЄ-ланок з високою та низькою швидкодією. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту*. 72-73.

31. Туренко, А. М., Ломака, С. Й., Клименко, В. І., Рижих, Л. О., Леонтьєв, Д. М., Чебан, А. А., Красюк, О. М., & Тишковець, С. В. (2008). *Модулятор електронної гальмівної системи* (Патент України № 84437 С2). ХНАДУ. Заявка № а 2006 02536, подана 09.03.2006. Опубліковано 27.10.2008 у *Бюлетені № 20*.

32. Туренко, А. М., Ломака, С. Й., Клименко, В. І., Рижих, Л. О., Тишковець, С. В., Леонтьєв, Д. М., Чебан, А. А., & Красюк, О. М. (2008). *Пропорціональний модулятор електронно-пневматичної гальмівної системи* (Патент України № 36321 U). ХНАДУ. Заявка № и 2008 05078, подана 21.04.2008. Опубліковано 27.10.2008 у *Бюлетені № 20*.