

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**МР. АТм-68.00.00.000 ПЗ**

**Група АТм-24-1**

**Роман Пронь**

**2025**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки і робототехніки

Кафедра Автомобільного транспорту

Пронь Роман Андрійович

УДК 621.793.72

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Тема** Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ.

(назва згідно з наказом ректора)

Автомобільний транспорт  
(назва освітньої програми)

274 – Автомобільний транспорт  
(шифр і назва спеціальності)

Студент \_\_\_\_\_ Р.А. Пронь  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Войцехівська Тетяна Йосипівна, асист.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

завідувач кафедри автомобільного транспорту

д.т.н, професор. \_\_\_\_\_ С.І. Криштопа  
(посада) (підпис) (дата) ініціали та прізвище)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

**Івано-Франківськ - 2025**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут: інженерної механіки і робототехніки

Кафедра: автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 274 “Автомобільний транспорт”

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завкафедрою АТ

\_\_\_\_\_ С.І. Криштопа

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Студенту \_\_\_\_\_ Проню Роману Андрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

**1 Тема роботи** Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ.

керівник проєкту (роботи) \_\_\_\_\_ Войцехівська Т.Й., асист.

Затверджена наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2025 р.

**2 Термін здачі студентом закінченої роботи** \_\_\_\_\_

**3 Вихідні дані до роботи** 1. Характеристика підприємства “Богдан-Авто”, інформація з досліджень про енергетичну ефективність.

**Зміст розрахунково пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)** Аналіз роботи підприємства «Богдан-Авто» м. Івано-Франківськ. Аналіз останніх досліджень. Критерій оцінки енергетичної економічності автомобіля. Безпека праці при роботі на СТО

**5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)**

Презентаційні слайди

**6. Консультанти з проєкту (роботи), із зазначенням розділів проєкту**

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	РОЗДІЛ 1. Аналіз роботи підприємства «Богдан-Авто» м. Івано-Франківськ	10.03.2025	
2	РОЗДІЛ 2. Аналіз останніх досліджень	2.10.2025	
3	РОЗДІЛ 3. Критерій оцінки енергетичної економічності автомобіля	23.10.2025	
4	Розділ 4. Безпека праці при роботі на СТО	20.12.2025	
5	Оформлення графічної частини	21.12.2025	

**Студент**

Роман ПРОНЬ  
(підпис) (розшифрування підпису)

**Керівник роботи**

Тетяна ВОЙЦЕХІВСЬКА  
(підпис) (розшифрування підпису)

## АНОТАЦІЯ

Пронь Р.А.

Тема роботи: Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ.

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт».

Заклад освіти Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу.

Івано-Франківськ, 2025 рік.

Робота містить 74 сторінок, 14 таблиць, 25 рисунків, список літератури з 56 найменувань.

Описано діяльність підприємства «Богдан-Авто», розглянуто обґрунтування показників енергетичної ефективності автомобіля шляхом оцінки витрат енергії двигуна на його рух., описано правила безпеки праці на СТО.

Ключові слова: енергетична ефективність, СТО, формула.

## ABSTRACT

Pron R.A.

Subject of work: Analysis of indicators of energy efficiency assessment of vehicles in the conditions of the limited liability company "Bogdan-Avto", Ivano-Frankivsk.

Specialty 274 "Automobile transport".

Educational institution Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Ivano-Frankivsk, 2025.

The work contains 74 pages, 14 tables, 25 figures, a list of references of 56 names.

The activities of the enterprise "Bogdan-Avto" are described, the justification of indicators of energy efficiency of the car by assessing the energy consumption of the engine for its movement is considered, the rules of occupational safety at the service station are described.

Keywords: energy efficiency, service station, formula.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «БОГДАН-АВТО» М. ІВАНО- ФРАНКІВСЬК.....	11
1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства “Богдан-Авто” м. Івано- Франківськ .....	11
1.2 Послуги, які надаються ТзОВ «Богдан-Авто» .....	11
Висновки до розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	15
2.1 Шляхи використання енергії двигуна .....	15
2.2 Характеристики технологій накопичення енергії для автомобільних систем .....	17
Висновки до розділу 2 .....	27
РОЗДІЛ 3. КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ.....	28
Висновки до розділу 3 .....	36
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СТО .....	37
4.1 Актуальність теми .....	37
4.2 Розрахунок штучної вентиляції .....	44
Висновки до розділу 4 .....	51
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА .....	54
ДОДАТКИ.....	59

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Пронь Р.А.			Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Войцехівська Т.						
Рецензент						ІФНТУНГ гр. АТм-24-1		
Н. Контр.		Прунько І.Б.						
Затвердив		Криштопа С.І.						

## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

Динамічні властивості автомобіля визначають потужність двигуна та її витрати на подолання зовнішніх і внутрішніх протистоянь. За даними, опублікованими Агентством охорони навколишнього середовища США та Агентством з охорони навколишнього середовища США, приблизно розподіл енергії згорання палива в бензиновому двигуні легкового автомобіля, що працює в міських умовах, є таким:

- енергія згорання палива – 100%;
- витрати енергії в двигуні – 62,4%;
- конвертована енергія в механічну (на вартість двигуна) – 37,6% (витрата енергії на привід допоміжних механізмів автомобіля – 2,2%; витрата енергії на режим холостого ходу – 17,2%; витрата енергії на втрати в трансмісії – 5,6%);
- енергія, що надходить на провідне колесо автомобіля (забезпечення руху) – 12,6% (аеродинамічний спротив – 2,6 %; спротив кочення колеса – 4,2%; витрати на розгон автомобіля – 5,8%).

Пропонується розглянути обґрунтування показників енергетичної ефективності автомобіля шляхом оцінки витрат енергії двигуна на його рух.

### **Метою магістерської роботи**

Метою дослідження є аналіз методів оцінки енергетичної ефективності автомобілів.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити показники, які дозволять проводити порівняльний аналіз показників енергетичної ефективності різних моделей автомобілів.

**Об'єкт дослідження** Транспортні засоби (легкові, вантажні, автобуси тощо) у процесі експлуатації, зокрема їх енергоспоживання та ефективність використання палива/енергії.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Предмет дослідження** Система показників та методів оцінювання енергоефективності транспортних засобів, що включає:

- питомі витрати палива (л/100 км, г/кВт·год);
- коефіцієнт корисної дії двигуна;
- рівень викидів CO<sub>2</sub> на одиницю пройденого шляху;
- енергоємність транспортного процесу (витрати енергії на перевезення 1 пасажирів чи 1 тонни вантажу);
- інтегральні індекси енергоефективності (наприклад, Energy Efficiency Ratio – EER).

### **Методи дослідження**

#### Теоретичні методи

- Аналіз та синтез літературних джерел — вивчення нормативів, стандартів (WLTP, NEDC, FTP-75), ISO та наукових публікацій.
- Порівняльний аналіз — зіставлення показників енергоефективності різних типів транспортних засобів (ДВЗ, гібриди, електромобілі).
- Моделювання — побудова математичних моделей енергоспоживання та розрахунок інтегральних індексів ефективності.

#### Експериментальні методи

- Вимірювання витрат палива та енергії у реальних умовах експлуатації.
- Визначення рівня викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин.
- Тестування за стандартними їздовими циклами (WLTP, NEDC, FTP-75).
- Лабораторні випробування двигунів і систем приводу для визначення ККД.

#### Аналітичні методи

- Статистичний аналіз — обробка даних експлуатаційних випробувань, побудова графіків і трендів.
- SWOT-аналіз енергоефективності — оцінка сильних і слабких сторін різних технологій.

					MP. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- **Інтегральна оцінка** — використання узагальнених індексів (наприклад, Energy Efficiency Ratio, питомі витрати енергії на пасажиро-кілометр чи тонно-кілометр).

**Практичні методи**

- **Спостереження та моніторинг роботи транспортних засобів у реальних умовах.**
- **Економічний аналіз** — визначення витрат на паливо/енергію та їх вплив на собівартість перевезень.
- **Порівняння з нормативами та стандартами** — відповідність екологічним та енергетичним вимогам.

**Наукова новизна результатів роботи** Запропоновано класифікацію показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів (паливні, екологічні, експлуатаційні, інтегральні), що дозволяє комплексно оцінювати ефективність використання енергії.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблені та систематизовані показники енергоефективності можуть бути використані підприємствами транспорту для комплексної оцінки роботи автомобілів, автобусів та вантажівок.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота структурована у чотири розділи пояснювальної записки, кожен із яких завершується висновками. Крім того, підготовлено графічну частину у вигляді презентації.

					MP. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «БОГДАН-АВТО» М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК

## 1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства «Богдан-Авто» м. Івано-Франківськ

Компанія «Богдан-Авто» є одним із ключових гравців автомобільного ринку України. Заснована у 2011 році торгово-сервісна мережа охоплює більшість регіонів країни та включає 18 дилерських центрів і станцій технічного обслуговування.

Успіх компанії базується на багаторічному партнерстві зі світовими автовиробниками та комплексному підході до задоволення потреб клієнтів. Сертифіковані фахівці «Богдан-Авто» забезпечують продаж і сервіс автомобілів відповідно до високих стандартів якості.

За роки роботи компанія досягла значних результатів:

- близько 20 представництв по Україні;
- понад 50 тисяч реалізованих автомобілів;
- більше ніж 500 тисяч клієнтів сервісних центрів.

Офіційні СТО компанії здійснюють швидке й професійне обслуговування автомобілів усіх марок, а також гарантійний сервіс для Hyundai, Subaru, Navai, Great Wall та JAC.

## 1.2 Послуги, які надаються ТзОВ «Богдан-Авто»

У сучасних ринкових умовах конкурентоспроможність підприємства визначається рівнем якості наданих послуг. До цього поняття належать не лише технічне обслуговування та ремонт автомобілів, але й ефективна взаємодія з клієнтами.

Забезпечення якості послуг досягається завдяки організації системи технічного контролю у процесі виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту. На СТО «Богдан-Авто Івано-Франківськ» технічний контроль є невід'ємною складовою виробничого процесу. Він охоплює всі етапи — від приймання автомобіля до його видачі замовнику після завершення робіт.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Нині контроль якості здебільшого здійснюється після виконання операцій, тобто у формі пасивного контролю, метою якого є недопущення передачі клієнту автомобіля чи агрегату з дефектами. Для цього застосовують як суб'єктивні, так і об'єктивні методи перевірки. Методи контролю, обладнання та параметри визначаються технологічними картами й технічними умовами. Залежно від етапу виробничого процесу розрізняють три види контролю:

- **Вхідний** — виявлення дефектів, складання переліку робіт та визначення їх послідовності;
- **Операційний** — перевірка якості виконання попередніх операцій і прийняття рішення щодо передачі автомобіля на наступний етап;
- **Приймальний** — оцінка якості та обсягу виконаних робіт перед видачею автомобіля замовнику.

У процесі контролю на СТО перевіряють низку ключових параметрів:

- відповідність фактично виконаних робіт переліку, зазначеному у замовленні;
- технічний стан вузлів, агрегатів та систем, що забезпечують безпеку руху;
- комплектність автомобіля;
- правильність оплати виконаних робіт;
- дотримання гарантійних термінів для різних видів робіт.

СТО «Богдан-Авто Івано-Франківськ» гарантує, що автомобіль після технічного обслуговування чи ремонту відповідає вимогам нормативно-технічної документації та Технічних умов, за умови дотримання власником правил експлуатації, визначених заводом-виробником. Якщо якість або обсяг робіт не відповідають замовленню чи нормативам, майстер ВТК (або приймальник) ставить у замовленні-наряді штамп «Повернення» та інформує про це клієнта. Після виконання додаткових робіт проводиться повторний контроль.

Найбільш ефективною формою контролю є система управління якістю послуг відповідно до стандарту ISO 9001. Вона дозволяє не лише фіксувати

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

недоліки, але й комплексно оцінювати, регулювати та стимулювати якість послуг. Система включає сукупність методів і заходів, спрямованих на підтримання оптимального рівня якості шляхом систематичного контролю та впливу на чинники, що його визначають.

Організація технічного обслуговування та ремонту на СТО «Богдан-Авто Івано-Франківськ» базується на використанні технічних умов, технологічних карт та облікових документів, а також на раціональній організації робочих місць.

**Технологічні карти** визначають порядок виконання операцій, застосування обладнання, інструментів і матеріалів, а також розподіл робіт між виконавцями відповідної кваліфікації. Вони слугують засобом синхронізації завантаження робочих постів і дозволяють коригувати технологічний процес: перерозподіляти групи робіт з урахуванням трудомісткості та спеціалізації, розчленовувати їх на окремі операції чи поєднувати з іншими.

Кarti поділяються на:

- **операційно-технологічні** — містять перелік операцій у визначеній технологічній послідовності для агрегатів, вузлів та систем автомобіля;
- **постові** — є модифікованими операційно-технологічними картами, адаптованими до схеми розміщення виконавців та специфіки організації виробництва.

### Висновки до розділу 1

Комплексність обслуговування. ТзОВ «Богдан-Авто» надає широкий спектр послуг – від продажу автомобілів та запчастин до технічного обслуговування, ремонту й страхових консультацій. Це забезпечує клієнтам «повний цикл» сервісу в одному місці.

Орієнтація на клієнта. Компанія прагне задовольнити потреби різних категорій споживачів – як приватних власників, так і корпоративних клієнтів, пропонуючи індивідуальні рішення та гнучкі умови співпраці.

Професійність та якість. Виконання робіт здійснюється кваліфікованими спеціалістами із застосуванням сучасного обладнання та технологій, що гарантує високий рівень безпеки й надійності.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Розвиток та конкурентоспроможність. Завдяки розширенню спектра послуг, впровадженню нових технологій та підвищенню стандартів обслуговування підприємство зміцнює свої позиції на ринку автомобільних послуг.

Довіра та лояльність клієнтів. Наявність сервісних програм, гарантійного та післягарантійного обслуговування сприяє формуванню довготривалих відносин із клієнтами та підвищує їхню задоволеність.

					MP. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Шляхи використання енергії двигуна

Ефективність будь-якої мобільної машини з двигуном внутрішнього згоряння визначається, в першу чергу, її тягово-швидкісними властивостями і паливною економічністю, пов'язаної з витратою нафтових палив. Витрата палива безпосередньо пов'язаний з рівнем досконалості і технічним станом автомобіля і його елементів. Витрати енергії на рух автомобіля складаються з витрат, обумовлених подоланням дорожнього і аеродинамічного опору.

Поява нових альтернативних енергоустановок (електродвигуни, водневі ДВС, гібридні енергоустановки і т.д.), джерел енергії (акумуляторів, маховиків) викликало необхідність перегляду критеріїв, що характеризують енергетичну економічність автомобіля.

Виникла необхідність розширення поняття (експлуатаційного властивості) «паливна економічність», включивши в нього витрата не тільки теплової енергії палива, а й енергії інших видів (електричної і механічної).

Через зростання викидів парникових газів від спалювання вуглецевмісного викопного палива, такого як сира нафта, вугілля та природний газ, зміна клімату та глобальне потепління стають дедалі серйознішою загрозою для нашого довкілля та здоров'я. Швидкий перехід від палива на основі вуглецю необхідний для зменшення викидів парникових газів та зупинення подальшої кліматичної нестабільності [1]. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна енергія, енергія вітру, гідроелектростанції, біомаса та енергія океану, все частіше визнаються як засіб зниження вуглецевого сліду завдяки їх великій кількості та низьким викидам.

Однак періодичні відновлювані джерела енергії, такі як енергія вітру та сонця, також викликають нові занепокоєння щодо надійності, гнучкості та якості електроенергії мережі змінного струму. Як результат, розробляються системи накопичення енергії (СНЕ) для вирішення цих проблем [2]. Крім того, у транспортній галузі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), які залежать від споживання викопного палива, замінюються електромобілями (ЕТЗ). Отже, ЕТЗ мають значний вплив на зменшення екологічних проблем, спричинених

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

використанням ДВЗ. Як наслідок, у цих електромобілях потрібне накопичення енергії для забезпечення електроенергії, необхідної для керування електродвигунами та виконання інших функцій, таких як кондиціонування повітря та навігаційне освітлення [3].

СНЕ класифікуються на п'ять типів: електромагнітні, електрохімічні, механічні, хімічні та теплові. Деякі з найпоширеніших СНЕ для автомобільних застосувань включають суперконденсатори (СК), маховики, акумулятори, накопичувачі енергії на стисненому повітрі та водневі резервуари [4]. Кожна система накопичення унікальна за своєю номінальною потужністю, часом розряду, щільністю потужності та енергії, швидкістю відгуку, втратами саморозряду, терміном служби та часом циклу тощо. Ці характеристики слід враховувати при визначенні їхньої придатності для різних допоміжних ролей. Для виконання цих функцій силові електронні перетворювачі мають вирішальне значення в управлінні потоком енергії між мережею змінного струму, електродвигунами електромобілів та СНЕ.

Повне використання енергії двигуна можливо при зведенні до мінімуму невиробничих потужностей у двигуні та трансмісії. Такий підхід забезпечує отримання високої енергетичної ефективності автомобіля. Раніше запропоновано метод комплексної оцінки впливу на енергетичну ефективність автомобіля вдосконалення конструкцій енергоустановок і застосування альтернативних палив з урахуванням повного життєвого циклу машини. Однак, не розглядається вплив потужності двигуна і не дані рекомендації по її вибору на стадію проектування автомобіля. Для більш об'єктивної оцінки енергетичних витрат раніше було запропоновано використовувати поняття «енергетична економічність автомобіля» замість паливної економічності. Виникла необхідність розширення відомого поняття експлуатаційних властивостей – паливна економічність виникла у зв'язку з появою нових альтернативних енергоустановок (електродвигуни, махові двигуни, гібридні енергоустановки та ін.), що вимагає включення в нього витрат не тільки теплової енергії палива, але й енергії інших видів (електричної, механічної). В якості показника енергетичної економічності автомобіля, так само досліджено

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

можливість зменшення використання запасу джерела енергії за час проходження мірного ділянки шляху. Іншим критерієм запропоновано використовувати зворотну величину, тобто. шлях, що проходить автомобілем при витрачанні мірної кількості енергії джерела. В роботі досліджено вибір і обґрунтування показників енергетичної ефективності автомобіля шляхом оцінки витрат енергії двигуна на його рух. Проведено аналіз взаємозв'язків між енергетичними показниками динаміки та економічності автомобіля. Ключові слова: динамічні властивості, аеродинамічний спротив, питома потужність двигуна, енергетична економічність автомобіля.

Поява енергії електромобілів, гібридних автомобілів і автомобілів з інерційними акумуляторами вимагає зміни показників паливної економічності на більш загальні показники енергетичної економічності.

З точки зору забезпечення послідовності вирішення наукових проблем, пов'язаних з паливною та енергетичною економічністю, необхідно почати дослідження з оцінки витрат енергії двигуна на рух автомобіля. При цьому, у багатьох роботах, присвячених розглянутій проблемі, цілий ряд джерел додаткових джерел енергії двигуна при русі автомобіля залишається не дослідженим.

## **2.2 Характеристики технологій накопичення енергії для автомобільних систем**

Питань енергетичної ефективності автомобіля, економії палива і зниження токсичності відпрацьованих газів присвячені роботи [1-4]. Паливна економічність автомобіля визначається такими показниками як годинниковий витрата палива (маса палива, що витрачається за одну годину роботи двигуна), питома витрата палива (маса палива, що витрачається за одну годину на одиницю виробленої двигуном потужності) [5].

Основним вимірником паливної економічності в більшості країн є витрата палива в літрах на 100 кілометрів пройденого шляху, а для оцінки ефективності виконання транспортної роботи питомий показник (відношення фактичної витрати палива до виконаної транспортної роботи) [5]. Крім того, встановлено показники

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

паливної економічності автомобіля [5]: контрольний витрата палива (КРТ); витрата палива в магістральному їздовому циклі на дорозі (РТМЦ); витрата усталеного руху (ТХ); паливно-швидкісна характеристика на магістрально-горбистій дорозі (ТШХ).

Перераховані показники не мають нормативних значень і використовуються при порівняльній оцінці рівня паливної економічності з аналогами і оцінки технічного стану автомобіля [5].

Для оцінки впливу експлуатаційних факторів на витрату палива введена паливно-економічна характеристика автомобіля, що представляє собою залежність витрати палива на 100 кілометрів шляху від швидкості автомобіля при різних значеннях коефіцієнта сумарного опору [5].

Оцінка енергетичної економічності автомобіля по витраті палива придатна для двигунів, що працюють на рідкому і газоподібному паливі. При цьому на витрату палива впливають не тільки експлуатаційні (дорожні) умови, але також і технічний стан автомобіля. Поява електромобілів, гібридних автомобілів і автомобілів з інерційними акумуляторами енергії [6-10] вимагає заміни критеріїв паливної економічності на більш загальні критерії - енергетичної економічності, що враховують витрати енергії, що припадають на одиницю шляху, пройденого автомобілем.

В автомобільній промисловості багато пристроїв використовуються для зберігання енергії в різних формах.

Найпоширенішими з них є акумулятори та суперконденсатори, які зберігають енергію в електричній формі, а також маховики, які зберігають енергію в механічній формі. Інші менш поширені пристрої зберігання включають водневі резервуари на паливних елементах та системи стисненого повітря, які зберігають енергію в хімічній та механічній формах відповідно.

### 2.2.1. Акумулятори

Акумулятори є найпоширенішими пристроями зберігання енергії в енергетичних системах та автомобільних застосуваннях. Вони працюють, перетворюючи накопичену внутрішню хімічну енергію в електричну. Наразі в

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

автомобільних застосуваннях використовуються три типи акумуляторів: свинцево-кислотні акумулятори, нікелеві акумулятори та літій-іонні акумулятори. Інші менш популярні на ринку включають натрій-сірчані акумулятори, метал-повітряні акумулятори та проточні акумулятори, які не будуть розглядатися в цій статті [17]. Також варто згадати водно-цинково-іонні акумулятори, які використовують водні електроліти замість органічних. Хоча вони все ще перебувають лише на експериментальній стадії, вони привернули увагу значну наукову та промислову увагу завдяки їхній безпеці (вони негорючі), добрій термічній стабільності, чудовим циклічним характеристикам, економічній ефективності та екологічності порівняно з іншими акумуляторами на органічній основі. Вони мають щільність енергії до 361 Вт·год/кг завдяки використанню цинкових металевих анодів з високою гравіметричною та об'ємною ємністю 820 мАг/г та 5855 мАг см<sup>-3</sup> відповідно, а також низьким окисно-відновним потенціалом -0,762 В [18–20].

Свинцево-кислотні акумулятори є найтрадиційнішими перезаряджаними електрохімічними пристроями для як побутового, так і комерційного використання. Найчастіше використовуються свинцево-кислотні акумулятори з вентиляльованим регульованим свинцевим акумулятором, також відомі як «затоплені», та свинцево-кислотні з клапанним регульованим акумулятором, які скорочено називають «герметичними». Перший тип дешевший за другий; однак, він потребує певного технічного обслуговування через необхідність щомісячних перевірок та заміни дистильованої води в акумуляторі, а також вентиляції через утворення легкозаймистих газів [21]. Свинцево-кислотні акумулятори наразі використовуються в різних сферах застосування, включаючи обслуговування стартерних акумуляторів транспортних засобів, блоки ДБЖ, мобільні енергетичні системи, такі як вилкові навантажувачі, та невеликі фотоелектричні системи [22]. Свинцево-кислотні акумулятори мають низькі капітальні витрати (60–200 доларів США/кВт·год), високу енергоефективність (63–90%), швидку реакцію та низькі швидкості саморозряду (близько 2% від номінальної ємності на місяць при 25 °С). Свинцево-кислотні акумулятори, однак, характеризуються низькою питомою щільністю енергії (25–50 Вт·год/кг) та коротким циклом розрядки/зарядки (500–

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1500 циклів). Оскільки вони містять шкідливі елементи, екологічні проблеми також виникають під час виробництва або утилізації цих акумуляторів [17]. Вони також важкі та мають погані низькотемпературні властивості, і їх не можна залишати розрядженими надто довго, не завдаючи шкоди [21,22]. Ці недоліки обмежують широке комерційне використання свинцево-кислотних акумуляторів.

Акумулятори на основі нікелю бувають чотирьох основних типів: нікель-кадмієві (NiCd), нікель-металгідридні (NiMH), нікель-залізні (NiFe) та нікель-цинкові (NiZn). Нікелеві акумулятори пропонують хороші характеристики міцності/надійності. Вони можуть витримувати різні електричні використання, оскільки їх можна залишати в розрядженому стані протягом тривалого часу без незворотних пошкоджень, хоча їх потрібно підготувати перед використанням, а також вони забезпечують хорошу продуктивність при високих температурах навколишнього середовища [23], а також низьких температурах [24].

NiCd акумулятори в деяких випадках можуть конкурувати зі свинцево-кислотними акумуляторами, оскільки вони пропонують подібні характеристики, але мають більшу циклічну здатність (>3500 циклів), щільність потужності та щільність енергії (40–75 Вт·год/кг) [25]. Незважаючи на переваги, які вони мають, вони мають деякі обмеження. NiCd має ефект пам'яті, який призводить до втрати ємності, коли його періодично не повністю розряджають [24]. Вони також мають вищі показники саморозряду порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами і тому потребують перезарядки після зберігання. Крім того, кадмій є токсичним металом; отже, існують проблеми, пов'язані з утилізацією Ni-Cd акумуляторів. Крім того, вони мають низьку напругу елементів 1,20 В і потребують багатьох елементів для досягнення високої напруги. Нарешті, вони мають відносно високу вартість, оскільки виробничий процес є дорогим (приблизно в 5-10 разів вищим за вартість порівнянного свинцево-кислотного акумулятора) [26].

Ni-MH акумулятори мають приблизно в 1,5-2 рази вищу питому енергію (70-100 Вт·год/кг) та відносно вищу щільність енергії (100-320 Вт·год/л), ніж NiCd. Вони демонструють високу питому потужність (>200 Вт/кг) та вищу щільність потужності порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами, але ці якості нижчі,

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

ніж у NiCd [27]. Вони також демонструють стійкість до перезаряду/розряду та є екологічно сумісними та безпечними, оскільки містять лише легкі токсини [28].

Крім того, вони менш схильні до ефектів пам'яті, ніж NiCd, та мають довший термін служби порівняно з літій-іонними акумуляторами [25]. Ймовірно, основною проблемою нікель-металгідридних акумуляторів є їхня висока вартість. Інші проблеми включають високі показники саморозряду через розкладання активного матеріалу, роботу за низьких температур та вищі вимоги до охолодження.

Вони також схильні виділяти тепло під час швидкого заряду та розряду з високим навантаженням, і термін їх служби скорочується, якщо вони глибоко розряджені [24].

NiFe-акумулятори стійкі до перезаряду та перезаряду і можуть служити понад 20 років у режимі очікування. Вони також демонструють високу стійкість до вібрацій та високих температур. Вони можуть залишатися розрядженими протягом тривалого часу без пошкоджень. Вони також є екологічно чистими та безпечними. Однак NiFe-акумулятори мають низьку питому енергію близько 50 Вт·год/кг та низькою щільністю енергії близько 30 Вт·год/л, поганою низькотемпературною продуктивністю та високим саморозрядом 20–40 відсотків на місяць. Крім того, вони мають високі виробничі витрати, оскільки коштують майже в чотири рази дорожче, ніж свинцево-кислотні та літєві акумулятори [29], хоча вони дешевші за нікель-кадмієві акумулятори. Вони також дуже важкі та громіздкі, а також мають низький кулонівський ККД, зазвичай менше 65%. Нарешті, напруга холостого ходу цих елементів становить 1,4 В, а напруга розряду – близько 1,2 В; тому для досягнення вищої напруги їм потрібно багато складених елементів [30].

NiZn забезпечує 1,65 В/елемент, а не 1,20 В, як це забезпечують NiCd та NiMH. Наразі NiZn акумулятори мають питому енергію близько 50–60 Вт·год/кг та щільність енергії близько 80–120 Вт·год/л залежно від конкретної конструкції. Вони також демонструють хороші характеристики циклів, оскільки можуть забезпечити понад 500 циклів при 100% глибині розряду (ГРР) і до кількох тисяч циклів при низькій ГРР [31]. NiZn не містить важких токсичних матеріалів і може бути легко перероблений. Хімічний склад NiZn-акумуляторів чудовий при високих

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

швидкостях розряду (оскільки їхній внутрішній опір низький), зберігаючи при цьому термічну стабільність.

Вони також здатні до швидкої перезарядки [32]. Незважаючи на вищезазначені переваги, вони, як правило, набагато дорожчі за свинцево-кислотні акумулятори.

Літій-іонні акумулятори є одним з найпопулярніших типів акумуляторних батарей, доступних на ринку для використання в автомобілях, завдяки перевагам, якими вони вони володіють. Вони мають одну з найвищих питомих енергій (150–350 Вт·год/кг) та щільність енергії (100–800 Вт·год/л) серед усіх технологій акумуляторів, як показано на рисунку 1, високу напругу холостого ходу (вони можуть видавати до 3,6 В, що втричі вище, ніж технології, такі як NiCd та NiMH), низький рівень саморозряду близько 1,5–2% на місяць, відсутність ефекту пам'яті, що є перевагою над NiCd та NiMH, обидві з яких демонструють цей ефект, а також демонструють повільну втрату заряду, коли не використовуються [33,34]. Вони не містять токсичного кадмію, що робить їх легшими в утилізації, ніж Ni-Cd акумулятори. Незважаючи на свою технологічну перспективність, літій-іонні акумулятори мають низку недоліків, особливо з точки зору безпеки. Літій-іонні акумулятори схильні до перегріву та пошкоджень при високій напрузі.

У деяких випадках може відбуватися тепловий розрив та згоряння. З цих причин літій-іонні акумулятори потребують запобіжних механізмів для обмеження напруги та внутрішнього тиску, що може збільшити їхню вагу та, в деяких випадках, обмежити їхню продуктивність. Вони також схильні до старіння зі втратою ємності. Часто, якщо їх не використовувати обережно, вони виходять з ладу через кілька років. Ще однією перешкодою для широкого впровадження є їхня висока вартість, яка приблизно на 40% вища, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів [34].

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		22

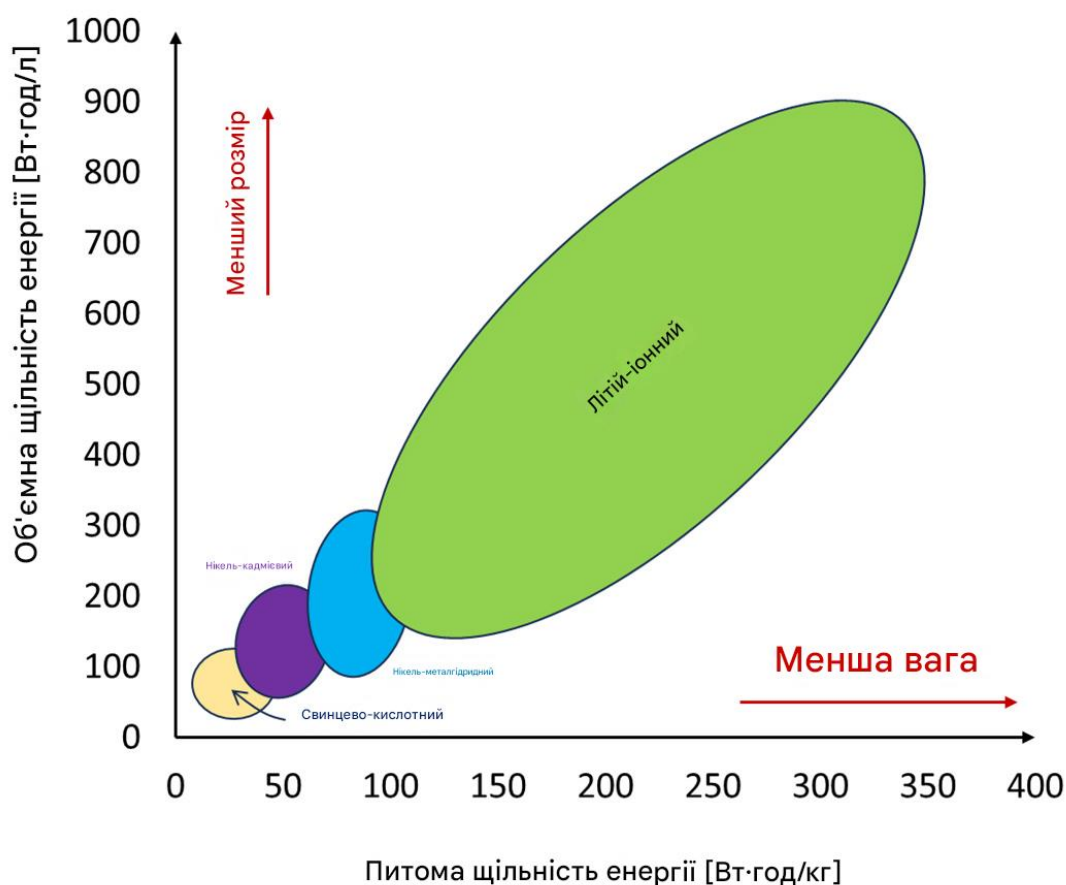


Рисунок 2.1 – Питома щільність енергії та об'ємна щільність енергії різних типів акумуляторів

### 2.2.2 Суперконденсатори

Суперконденсатори – це пристрої накопичення енергії, що працюють за принципом, що знаходиться між батареями та звичайними конденсаторами. Суперконденсатори можна класифікувати на три основні категорії, враховуючи конфігурацію елемента, механізм накопичення заряду та матеріали електродів і електролітів: двошарові електричні конденсатори (ДДШК), псевдоконденсатори (ПК) та гібридні суперконденсатори (ГСК) [35]. Вони можуть накопичувати більше енергії, ніж конденсатори, та забезпечувати більше потужності, ніж батареї (їхня питома потужність становить від 2 до 10 кВт/кг, а щільність потужності – від 40 до 120 кВт/л).

Ці характеристики, разом з їх надзвичайно високою циклічністю (зазвичай вище 500 000 циклів, що забезпечує їм тривалий термін служби) та довготривалою стабільністю, роблять ССК привабливими пристроями накопичення енергії [36].

Для використання в імпульсних системах живлення ССК повинні мати високу робочу напругу, велику ємність та низький опір. Однак робоча напруга існуючих суперконденсаторів зазвичай менше 3,5 В. Це вимагає їх послідовного з'єднання для збільшення напруги, але це неминуче зменшує загальну ємність системи та збільшує внутрішній опір, що призводить до більших втрат потужності [37]. Ємність та внутрішній опір суперконденсаторів можна підвищити, з'єднавши їх паралельно [22]. Суперконденсатори також мають дуже короткий час заряду/розряду, зазвичай від кількох секунд до хвилин, та мають ефективність від 90 до 94%. Однак їх не можна використовувати для тривалого зберігання через дуже високий саморозряд на день (близько 20–40%); тому вони підходять лише для короткочасного зберігання [38]. Вони також мають низьку питому енергію (2–5 Вт·год/кг) та щільність енергії (10–30 Вт·год/л) порівняно з традиційними батареями. В результаті цього їх можна використовувати в гібридних системах з акумуляторами, де акумулятори забезпечують довгострокову енергію, необхідну системі, тоді як суперконденсатори забезпечують короткострокову потужність.

Ще однією складною проблемою для суперконденсаторів є їхні високі капітальні витрати, які зазвичай становлять близько 10 000 доларів США/кВт·год [39].

### 2.2.3 Маховики

Маховики – це системи, здатні накопичувати енергію в обертальній кінетичній формі [40]. Система накопичення енергії маховика (FESS) показана на рисунку 2 і складається з п'яти основних компонентів: маховика (обертового диска), групи підшипників, реверсивного електричного двигуна/генератора, силового електронного блоку та вакуумної камери [41]. Ця технологія базується на тому, що електрика, енергію якої ми хочемо накопичити, приводить в рух електродвигун, який обертає маховик з тисячами обертів на хвилину, підтримуючи кінетичну енергію з часом. [42]. Під час процесу розряду, тобто коли потрібно витягти електроенергію із системи, маховик обертає вал, з'єднаний з валом електрогенератора, який виробляє електроенергію [43]. Розміщення маховика для обертання у вакуумній камері допомагає забезпечити відсутність втрат через

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

аеродинамічний опір, тим самим підвищуючи ефективність перетворення енергії [44].

Кількість енергії, що зберігається в маховику, залежить від швидкості обертання маховика, а також від його моменту інерції

Існує дві основні групи: низькошвидкісні та високошвидкісні. Низькошвидкісний маховик використовує сталь як матеріал і обертається зі швидкістю нижче  $6 \times 10^3$  об/хв. Він має питому енергію близько 5 Вт·год/кг.

З іншого боку, високошвидкісний маховику використовує сучасні композитні матеріали, такі як вуглецеве волокно, і може обертатися зі швидкістю до приблизно 105 об/хв. Він також використовує безконтактні магнітні підшипники для зменшення зносу підшипників, тим самим підвищуючи ефективність. Було показано, що він досягає питомої енергії близько 100 Вт·год/кг. Однак, він має вищу вартість порівняно з низькошвидкісним [41].

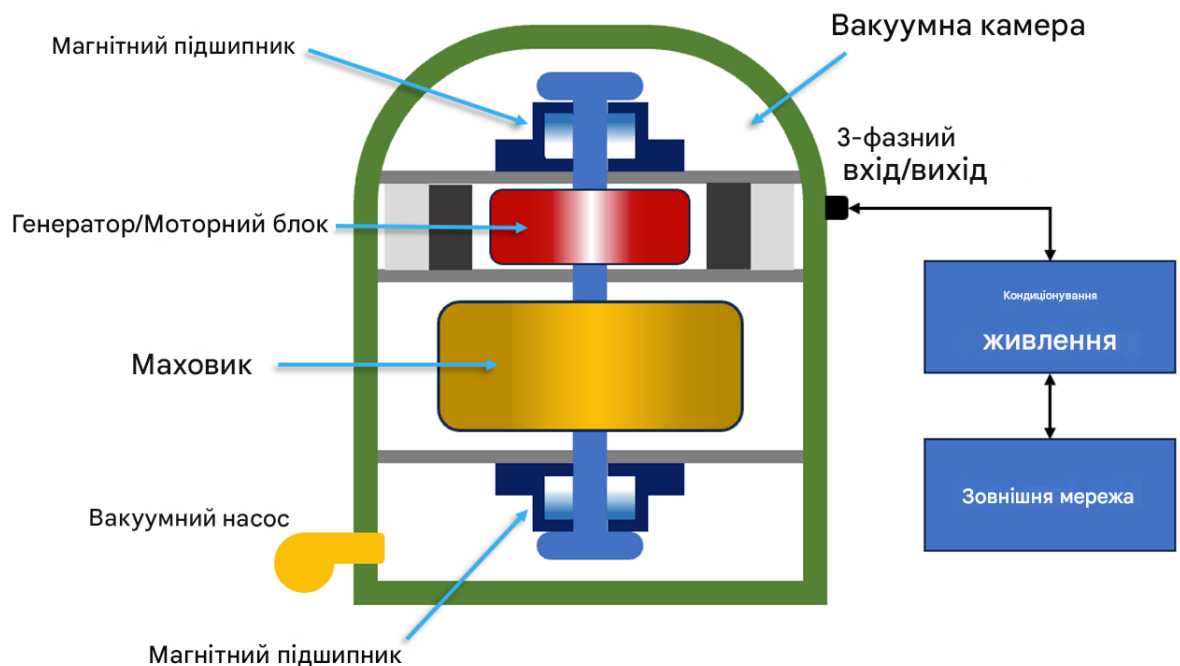


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення високошвидкісного маховика.

FESS мають багато переваг, таких як висока ефективність у повному обсязі (90–95%), надзвичайно довгий термін служби (15–20 років), низькі витрати на обслуговування та швидка реакція [42,45]. Під час роботи маховиків не утворюються викиди парникових газів або токсичні речовини, тому вони є дуже екологічно чистими [44]. Більше того, порівняно з батареями, ця система

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

зберігання може працювати в ширшому діапазоні температур [43]. Деякі проблеми, пов'язані з маховиками, включають високі капітальні витрати (1000–5000 доларів США/кВт·год) [45] та високий рівень саморозряду (3–20% від накопиченої ємності на годину), що виникає внаслідок втрат на холостому ходу в періоди, коли маховик не використовується [41,46]. Через високий рівень саморозряду FESS ефективні лише при накопиченні енергії протягом коротких періодів. Тому їх не можна використовувати як автономний резервний джерело живлення, якщо вони не працюють з іншим ESS, наприклад, акумулятором. Ще одна проблема полягає в тому, що вони мають обмежену ємність (3–130 кВт·год) [42].

#### 2.2.4 Зберігання водню в резервуарах

Ідея використання водню як сировини для живлення автомобілів майбутнього нещодавно привернула увагу завдяки його поширеності, чистоті та високій щільності енергії 120 МДж/кг, що майже втричі перевищує показники дизельного палива чи бензину. Хоча акумуляторні електромобілі зросли в популярності та продажах у всьому світі протягом останнього десятиліття, впровадження водневих транспортних засобів відбувалося поступово, однією з основних причин чого є труднощі зі зберіганням легкозаймистого водню на борту [47]. Зберігання стисненого водню є найперспективнішим рішенням для зберігання на борту завдяки своїй чудовій продуктивності та зручності. Воно передбачає зберігання газоподібного водню в резервуарах високого тиску, які включають п'ять стандартних типів: Тип I, II, III, IV та V. Ця класифікація залежить від ваги та низької вартості матеріалу резервуара, який може витримувати високі вимоги до тиску, ємності матеріалу протистояти дифузії водню та можливих пошкоджень, спричинених зберіганням воднем. Тим не менш, подальші технології, такі як рідкий та криостиснутий водень, все ще розробляються.

Водень, що зберігається в резервуарах, потім подається в паливний елемент (ПЕ), який генерує низьковольтну постійну електричну енергію, яка може бути використана для живлення електродвигунів змінного струму в автомобілях через відповідний високопідвищувальний електронний перетворювач постійного струму

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

в змінний. Паливний елемент не вимагає жодних механічних або теплових процесів, і для запуску роботи необхідне лише повітря (кисень).

## Висновки до розділу 2

Сучасні технології накопичення енергії для автомобільних систем представлені широким спектром рішень — від традиційних акумуляторних батарей до суперконденсаторів та систем комбінованого типу. Кожна технологія має власні переваги та обмеження, що визначають сферу її застосування.

1. Акумуляторні батареї (літій-іонні, літій-залізо-фосфатні, твердотільні) залишаються базовим джерелом енергії для електромобілів завдяки високій питомій енергії та відносно тривалому терміну служби, проте їх ефективність залежить від температурних режимів і систем керування зарядом.

2. Суперконденсатори характеризуються високою питомою потужністю та надзвичайно швидким циклом заряд-розряд, що робить їх перспективними для використання у системах рекуперації енергії гальмування та підтримки пікових навантажень.

3. Комбіновані системи (гібридні накопичувачі), що поєднують акумулятори та суперконденсатори, забезпечують баланс між високою енергоємністю та потужністю, підвищуючи ефективність роботи автомобільних енергосистем.

4. Ключовими характеристиками накопичувачів енергії є питома енергія, питома потужність, термін служби, ефективність циклу заряд-розряд та екологічна безпечність. Їх комплексна оцінка дозволяє визначати оптимальні технології для конкретних транспортних застосувань.

5. Перспективи розвитку пов'язані з удосконаленням матеріалів електродів та електролітів, впровадженням твердотільних акумуляторів, а також інтеграцією інтелектуальних систем керування енергопотоками в автомобільних системах.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### РОЗДІЛ 3. КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ

Критерієм оцінки енергетичної економічності автомобіля може бути зменшення запасу джерела енергії за час проходження мірного ділянки шляху. Іншим критерієм може бути зворотна величина, тобто шлях, прохідний автомобілем після витрачання мірного кількості енергії джерела. Частина енергії витрачається на подолання сумарного дорожнього і аеродинамічного опору. З урахуванням втрат енергії в двигуні і трансмісії рівняння енергетичного балансу автомобіля має вигляд:

$$\Delta W_u = \frac{\int_0^{S_M} P_k dS}{\eta_o \cdot \eta_{mp}}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta W_u$  – з міна енергії джерела за час руху автомобіля на вимірному ділянці шляху;

$\Delta W_u$  – тягова сила на ведучих колесах автомобіля;

$S$  – шлях, прохідний автомобілем;

$S_M$  – довжина мірного ділянки шляху;

$\eta_o$  – е фективний коефіцієнт корисної дії двигуна;

$\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Слід розрізняти рівномірний і усталений рух автомобіля. Рівномірний рух відбувається при постійній і миттєвої швидкості, а усталене при постійній середній швидкості руху автомобіля.

Для усталеного руху автомобіля можна застосовувати такі припущення:

$$\vec{V} = V = const, \quad (3.2)$$

$\vec{V}$  – середня швидкість автомобіля на вимірному ділянці шляху;

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V$  – миттєва швидкість автомобіля.

Тягова сила на ведучих колесах автомобіля в цьому випадку:

$$P_k = m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2, \quad (3.3)$$

де  $m$  – загальна маса автомобіля;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$\psi$  – коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

$F$  – площа лобового опору (мидель) автомобіля;

$K$  – коефіцієнт опору повітря,

$$K = \frac{C_x}{2} \rho; \quad (3.4)$$

де  $C_x$  – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;

$\rho$  – щільність повітря.

У рівнянні (3.1) зробимо заміну змінної

$$dS = V dt, \quad (3.5)$$

де  $t$  – час.

Підставляючи співвідношення (3.3) і (3.5) в рівняння (3.1), отримаємо після інтегрування:

$$\Delta W_u = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}{\eta_o \cdot \eta_{mp}} V \cdot t_M, \quad (3.6)$$

де  $t_M$  – час проходження автомобілем мірного ділянки шляху.

З урахуванням прийнятого допущення (3.2):

$$t_M = \frac{S_M}{V}. \quad (3.7)$$

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміна (зменшення) запасу енергії джерела на вимірному ділянці шляху тим більше, чим вище швидкість його проходження. Крім того, ККД двигуна  $\eta_o$  і трансмісії  $\eta_{mp}$  також залежать від швидкості автомобіля і передавального числа трансмісії. Саме вказане обставина привела до появи значної кількості досліджень, присвячених впливу швидкісного режиму автомобіля і двигуна на паливну економічність [21-24].

Рівняння (3.8) визначає витрата енергії джерела на вимірній ділянці шляху  $S_M$ . Витрата енергії на одиницю довжини шляху:

$$\frac{\Delta W_u}{S_M} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}{\eta_o \cdot \eta_{mp}} \quad (3.9)$$

Зміна енергії джерела при проходженні ділянки шляху довжиною  $S$ :

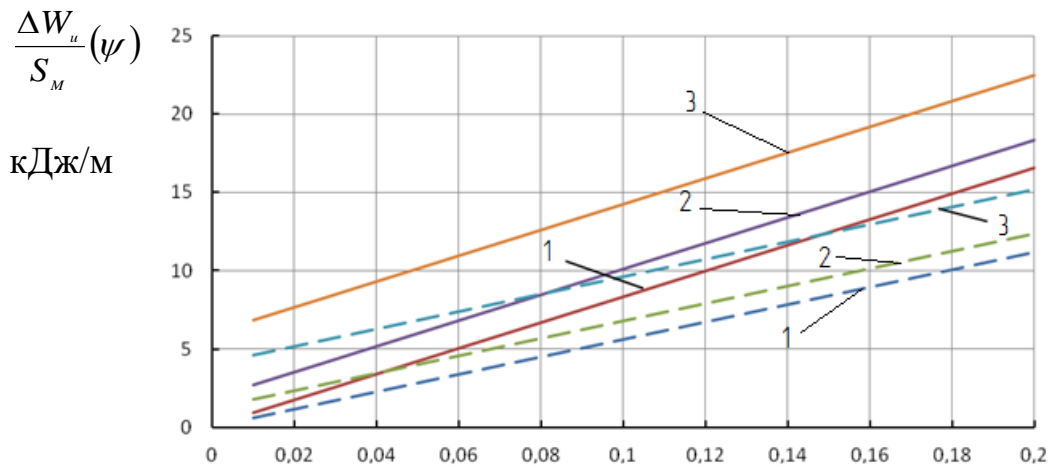
$$\Delta W_u = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}{\eta_o \cdot \eta_{mp}} S \quad (3.10)$$

Якщо визначити мірне кількість енергії джерела, то шлях, прохідний автомобілем при витрачанні зазначеної кількості енергії дорівнюватиме  $\Delta W_{ui}$ :

$$\frac{S_M}{\Delta W_u} = \frac{\eta_o \cdot \eta_{mp}}{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2} \quad (3.11)$$

На рис. 3.1 – 3.8 представлені графіки, побудовані відповідно до виразу (3.9). Графіки побудовані для легкового автомобіля, що має споряджену масу  $m_{a \text{ споряд}} = 1400$  кг, повна маса  $m_{a \text{ повн}} = 1890$  кг, ККД трансмісії  $\eta_{tp} = 0,9$ , площа лобового опору  $F = 2,56$  м<sup>2</sup>, оснащеного бензиновим або дизельним двигуном з ефективним ККД відповідно  $\eta_e = 0,25$  і  $\eta_e = 0,37$ . Коефіцієнт сумарного дорожнього опору при русі по горизонтальній ділянці дороги прийнятий  $\psi_{\min} = 0,014$ , при русі в гору  $\psi_{\max} = 0,12$ . На рис. 3.1 і рис. 3.2 приведені графіки залежності  $\frac{\Delta W_u}{S_M}(\psi)$  і  $\frac{S_M}{\Delta W_u}(\psi)$ , побудовані для бензинових і дизельних двигунів умовного автомобіля при різних швидкостях руху і коефіцієнтах опору повітря  $K$ .

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

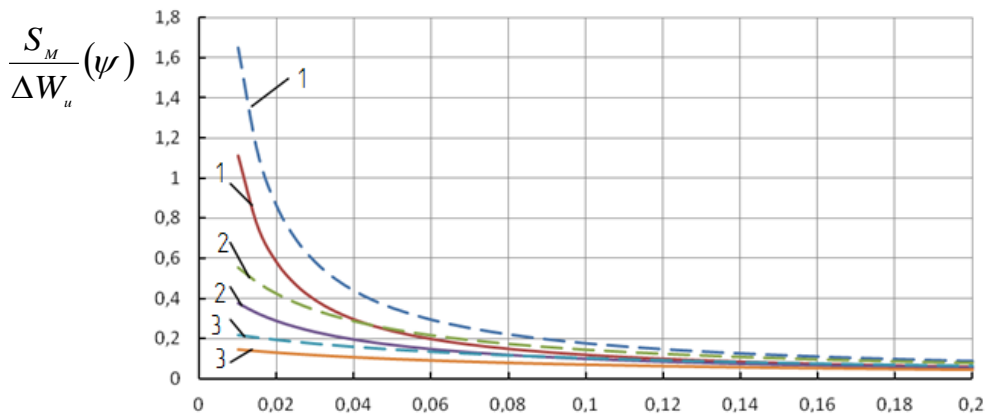


ψ

————— — бензиновий двигун;

----- — дизельний двигун

Рисунок 3.1 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірної ділянки від коефіцієнта сумарного дорожнього опору: 1 – при швидкості руху  $V = 5$  м / с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.



ψ

————— — бензиновий двигун;

----- — дизельний двигун

Рисунок 3.2 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від коефіцієнта сумарного дорожнього опору: 1 – при швидкості руху  $V = 5$  м/с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.

На рис. 3.3 і рис. 3.4 наведені графіки залежності  $\frac{\Delta W_u}{S_M}(\psi)$  при різних значеннях сумарного дорожнього опору  $\psi$  і коефіцієнтах опору повітря  $K$  (для бензинових і дизельних двигунів).

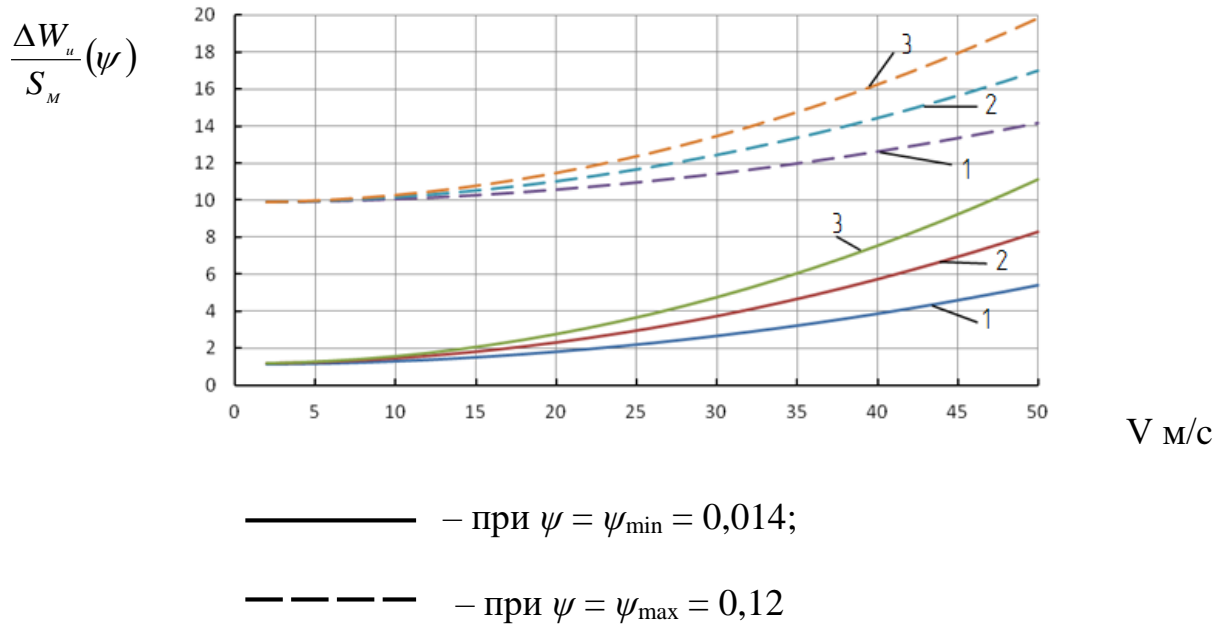
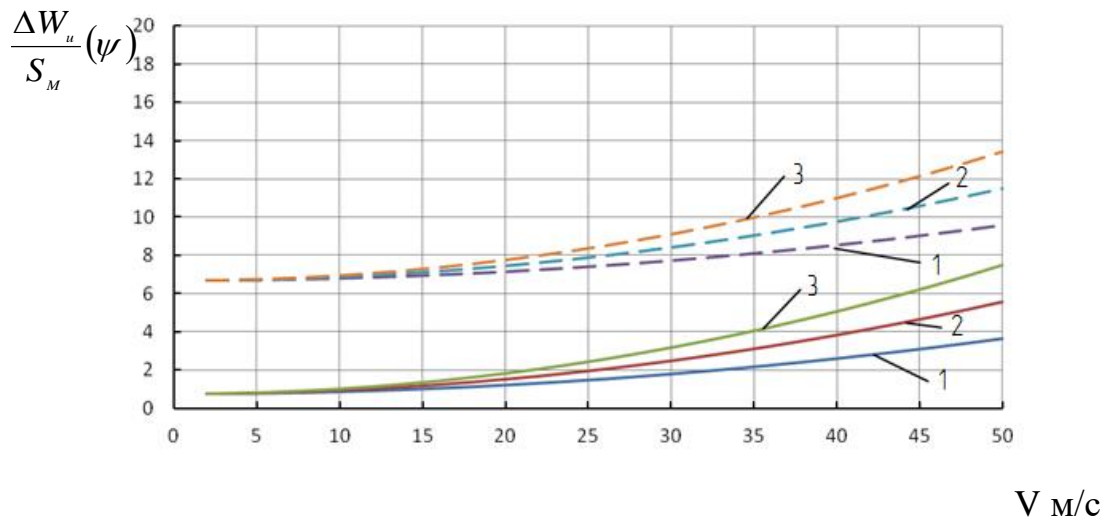


Рисунок 3 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки від сталої швидкості руху автомобіля з бензиновим двигуном:

1 – при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$



————— при  $\psi = \psi_{\min} = 0,014$ ;

- - - - - при  $\psi = \psi_{\max} = 0,12$

Рисунок 3.4 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки від сталої швидкості руху автомобіля з дизельним двигуном:

1 - при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 - при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 - при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

На рис. 3.5 і рис. 3.6 для бензинових і дизельних двигунів, відповідно, приведені графіки залежності  $\frac{S_M}{\Delta W_u}(V)$  при різних значеннях коефіцієнтів опору повітря  $K$ .

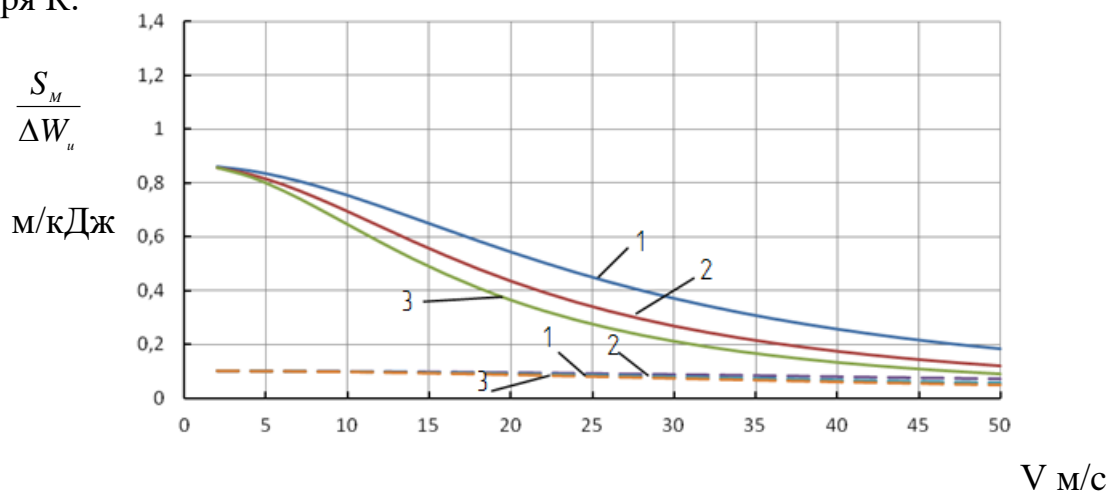


Рисунок 3.5 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля з бензиновим двигуном: 1 - при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 - при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 - при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

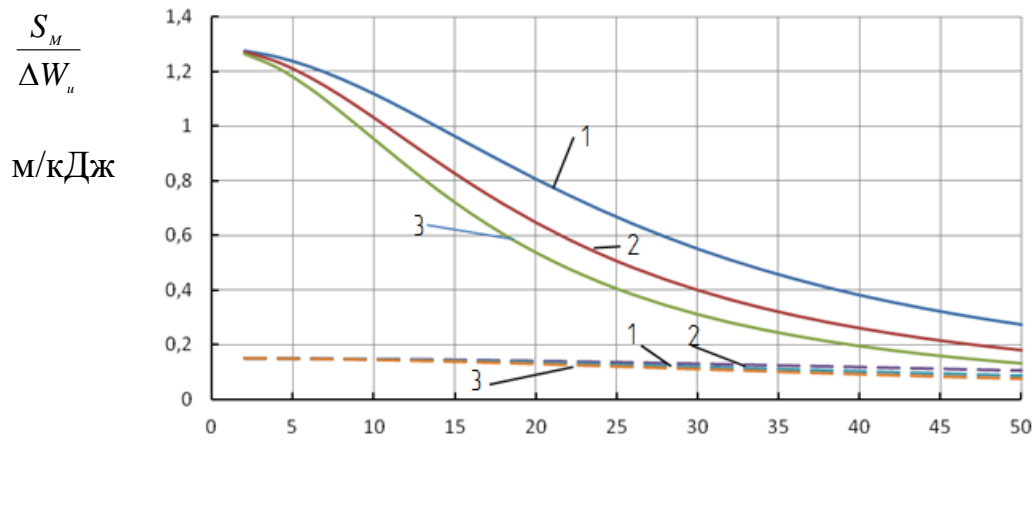


Рисунок 3.6 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля з дизельним двигуном:

1 – при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

На рис. 3.7 і рис. 3.8 наведені графіки залежності  $\frac{\Delta W_u}{S_M}(V)$  і  $\frac{S_M}{\Delta W_u}(V)$  для легкового автомобіля при різній повній масі автомобіля  $m_a$  і коефіцієнтах сумарного дорожнього опору  $\psi$ .

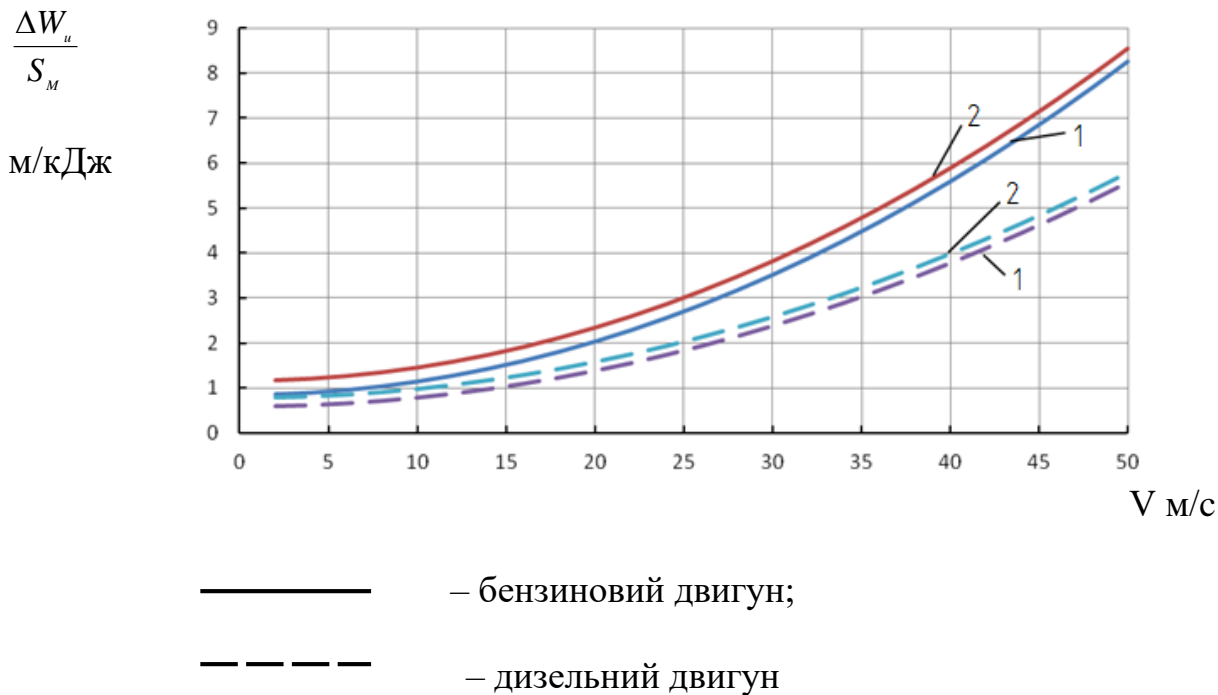


Рисунок 3.7 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки від сталої швидкості руху автомобіля: 1 - при масі автомобіля  $m_a = m_a$  споряд = 1400 кг; 2 - при  $m_a = m_a$  повн = 1890 кг

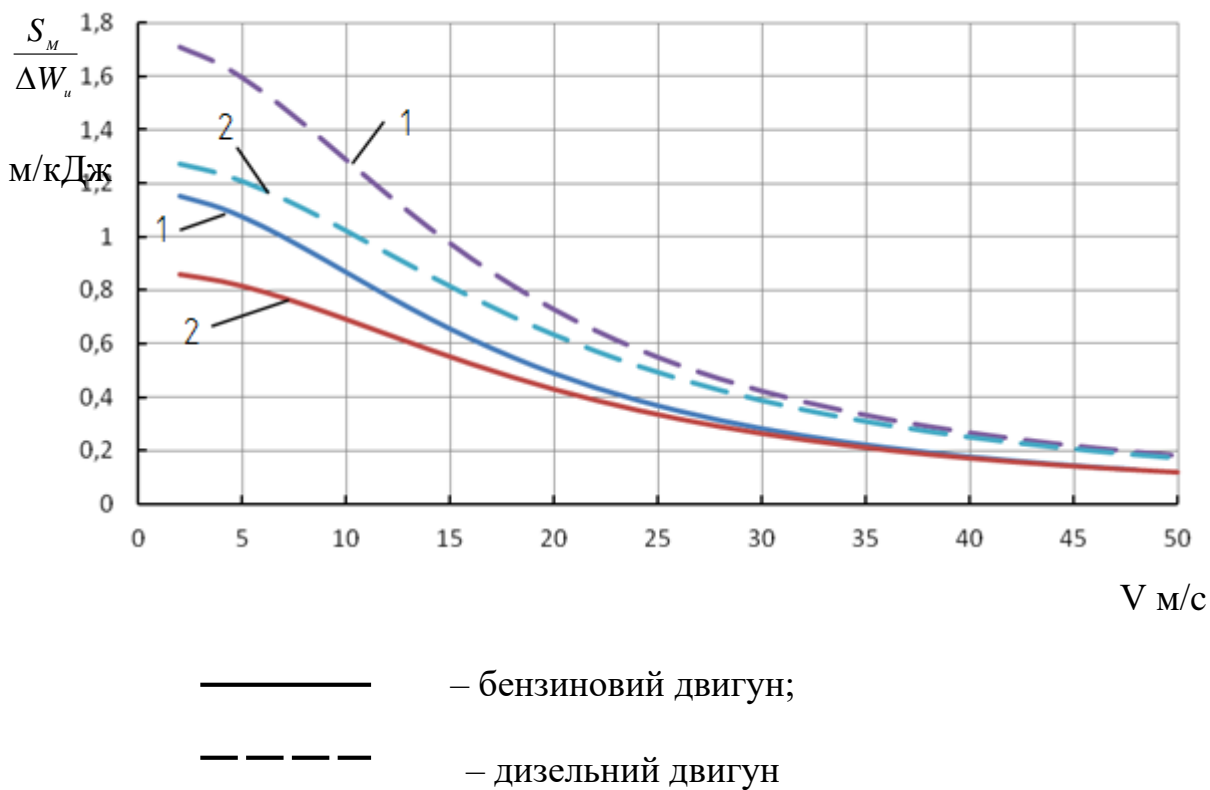


Рисунок 3.8 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля: 1 - при масі автомобіля  $m_a = m_a$  споряд = 1400 кг; 2 – при  $m_a = m_a$  повн = 1890 кг

Запас ходу автомобіля за умови руху з постійною швидкістю може бути визначений за допомогою рівняння (3.8)

$$L_a = \frac{W_u \cdot S_M}{\Delta W_u} = \frac{W_u \cdot \eta_d \cdot \eta_{mp}}{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2} \quad (3.12)$$

де  $W_u$  – запас енергії джерела (палива, акумуляторних батарей або інерційного акумулятора енергії).

### Висновки до розділу 3

Встановлено, що зміна енергії транспортного засобу має функціональну залежність від довжини мірного відрізка, яка визначається як конструктивними параметрами автомобіля, так і умовами його руху.

1. Відносна зміна енергії є інформативним показником, що дозволяє оцінювати ефективність використання енергоресурсів у процесі руху та може застосовуватися для порівняння різних типів транспортних засобів.

2. Доведено, що зі збільшенням довжини мірної ділянки вплив випадкових факторів (нерівності дороги, зміни режимів руху) зменшується, а отримані значення відносної зміни енергії стають більш стабільними та репрезентативними.

3. Аналіз показав, що характер залежності має нелінійний вигляд, що пов'язано з особливостями роботи силової установки, втратами в трансмісії та аеродинамічним опором.

4. Використання даної залежності дозволяє оптимізувати методику експериментальних досліджень, визначати раціональну довжину мірних ділянок та підвищувати точність оцінювання енергоефективності транспортних засобів.

5. Практичне застосування результатів полягає у можливості коригування режимів руху та вибору оптимальних параметрів випробувань, що сприяє більш об'єктивній оцінці енергоспоживання автомобіля.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СТО

### 4.1 Актуальність теми

Створення ефективних систем вентиляції та опалення на СТО є актуальним завданням, оскільки вони забезпечують не лише комфортні умови роботи для співробітників, а й сприяють підвищенню якості обслуговування клієнтів. Крім того, правильно спроектовані системи вентиляції та опалення можуть знизити ризик виникнення пожеж та інших аварійних ситуацій.

Актуальність теми розробки систем вентиляції та опалення станції технічного обслуговування автомобілів обумовлена кількома факторами:

1. Вимоги законодавства. В Україні діють будівельні норми та правила (СНіП), які регламентують параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях, включаючи СТО. Системи вентиляції та опалення повинні забезпечувати дотримання цих норм.

2. Комфорт та безпека персоналу. Від умов праці залежить продуктивність співробітників СТО та їх здоров'я. Неправильна робота систем вентиляції може призвести до накопичення шкідливих речовин у повітрі, що негативно позначиться на самопочутті працівників.

3. Якість послуг. Клієнти очікують, що на СТО буде створено комфортні умови як для них самих, так і для персоналу. Це впливає репутацію станції та її конкурентоспроможність.

4. Енергоефективність. Раціональне використання ресурсів важливе з погляду економії коштів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Сучасні системи вентиляції та опалення дозволяють оптимізувати енергоспоживання.

5. Пожежна безпека. Правильно спроектовані системи вентиляції допомагають запобігти розповсюдженню диму та вогню у разі пожежі, забезпечуючи безпечніші умови роботи та евакуації людей.

Актуальність також зумовлена необхідністю створення комфортних та безпечних умов роботи на станціях технічного обслуговування (СТО) автомобілів. У процесі своєї діяльності СТО можуть створювати проблеми з

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

погляду якості повітря та мікроклімату в приміщеннях, що може негативно позначитися на здоров'ї персоналу та ефективності роботи.

Розробка ефективних систем вентиляції та опалення є важливим аспектом забезпечення безпеки та комфорту на СТО. Вибір оптимального рішення залежить від конкретних умов та вимог до системи. Стаття пропонує аналіз існуючих рішень та розробку рекомендацій щодо проектування та експлуатації систем вентиляції та опалення для СТО, що робить її актуальною для інженерів-проектувальників, спеціалістів з експлуатації будівель та споруд, а також власників та керівників СТО.

### Вступ

Створення ефективної системи вентиляції та опалення на станції технічного обслуговування (СТО) автомобілів є ключовим аспектом забезпечення комфортних умов праці для персоналу та високої якості послуг. У цій статті ми розглянемо основні аспекти розробки таких систем, і навіть їх впливом геть роботу СТО.

У сучасному світі, де технології розвиваються з неймовірною швидкістю, а вимоги до якості послуг постійно зростають, питання створення комфортних та безпечних умов праці стає особливо актуальним. Особливо це стосується станцій технічного обслуговування (СТО) автомобілів, де робота з технічними рідинами та деталями потребує не лише професійних навичок, а й забезпечення чистоти повітря та підтримання оптимальної температури у робочих приміщеннях.

Системи вентиляції та опалення відіграють ключову роль у створенні таких умов. Вони забезпечують видалення забрудненого повітря, що містить вихлопні гази та пари масел, запобігаючи їх накопиченню в робочій зоні, а також підтримують комфортну температуру, що сприяє підвищенню продуктивності праці [1].

Метою цієї статті є розгляд основних аспектів розробки систем вентиляції та опалення станцій технічного обслуговування автомобілів. Ми докладно розберемо вимоги до таких систем, типи вентиляційних та опалювальних систем,

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

які можуть бути використані на СТО та етапи їх розробки. Це дозволить створити оптимальні умови для роботи персоналу та підвищити ефективність діяльності станції.

#### 1. Основні вимоги до систем вентиляції та опалення

При розробці систем вентиляції та опалення для СТО необхідно враховувати такі вимоги [1]:

1. Забезпечення чистоти повітря. Системи повинні ефективно видаляти забруднене повітря, що містить вихлопні гази, пари масел та інших технічних рідин, запобігаючи їх накопиченню в робочій зоні.

2. Підтримка оптимальної температури. Залежно від пори року та типу виконуваних робіт, системи повинні забезпечувати комфортну температуру у робочих приміщеннях, що сприяє підвищенню продуктивності праці.

3. Енергоефективність. Сучасні системи мають бути енергоефективними, щоб мінімізувати витрати на електроенергію та сприяти зниженню експлуатаційних витрат.

4. Надійність та довговічність. Обладнання має бути надійним та довговічним, забезпечуючи стабільну роботу без частих поломок та ремонтів.

5. Простота управління. Системи повинні бути простими в управлінні, дозволяючи персоналу легко регулювати параметри роботи в залежності від поточних потреб.

6. Відповідність стандартам безпеки. Усі компоненти системи повинні відповідати чинним стандартам безпеки, запобігаючи можливим аварійним ситуаціям.

#### 2. Типи систем вентиляції та опалення

Для СТО можуть використовуватись різні типи систем вентиляції та опалення, включаючи [2]:

- Припливно-витяжні системи. Забезпечують приплив свіжого повітря та видалення забрудненого, підтримуючи оптимальний мікроклімат у приміщенні.

- Системи кондиціонування повітря. Регулюють температуру та вологість повітря, створюючи комфортні умови для роботи.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- Теплові насоси. Використовують енергію із довкілля для обігріву приміщень, знижуючи енергоспоживання.
- Газові казани. Працюють на природному газі, забезпечуючи ефективне опалення великих площ.
- Електричні обігрівачі. Використовуються для локального обігріву робочих зон, де потрібне додаткове тепло.

Вибір конкретного типу системи залежить від розміру приміщення, вимог до мікроклімату, доступних ресурсів та інших факторів [2].

### 3. Зарубіжний досвід

Зарубіжний досвід розробки систем вентиляції та опалення на станціях технічного обслуговування автомобілів показує, що особлива увага приділяється енергоефективності, екологічності та автоматизації процесів [3].

У Європі та США активно впроваджуються системи з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та теплові насоси. Це дозволяє не лише знизити витрати на електроенергію, а й зменшити вплив на довкілля. Крім того, широко використовуються сучасні технології управління мікрокліматом, які забезпечують оптимальні умови роботи для персоналу та сприяють підвищенню якості послуг, що надаються [4].

Також варто відзначити, що закордонні компанії приділяють велику увагу навчанню та сертифікації фахівців із встановлення та обслуговування систем вентиляції та опалення. Це забезпечує високий рівень професіоналізму та гарантує надійну роботу обладнання.

Таким чином, вивчення зарубіжного досвіду може допомогти російським СТО запозичити кращі практики та вдосконалити свої системи вентиляції та опалення, зробивши їх ефективнішими, економічнішими та безпечнішими.

### 4. Перспективи розвитку

Перспективи розвитку систем вентиляції та опалення на станціях технічного обслуговування автомобілів пов'язані з впровадженням нових технологій та підходів, які дозволять підвищити ефективність роботи, покращити умови праці та знизити вплив на навколишнє середовище.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

1. Інтелектуальні системи керування. Впровадження систем автоматичного контролю та управління дозволить оптимізувати роботу обладнання, знизити енергоспоживання та забезпечити більш комфортні умови для персоналу. Це може включати використання датчиків температури, вологості та якості повітря для автоматичного регулювання роботи вентиляційних і опалювальних систем [5].

2. Використання відновлюваних джерел енергії. Розвиток технологій використання сонячної, вітрової та геотермальної енергії може призвести до створення більш екологічно чистих та економічно ефективних систем опалення та вентиляції. Не лише знизить витрати на електроенергію, а й зменшить викиди вуглекислого газу [1].

3. Поліпшення систем фільтрації та очищення повітря. Розробка нових фільтрів та систем очищення повітря дозволить ефективно видаляти шкідливі речовини з робочої зони, покращуючи якість повітря та запобігаючи захворюванням персоналу [1].

4. Застосування сучасних матеріалів та конструкцій. Використання інноваційних матеріалів та конструктивних рішень може сприяти підвищенню енергоефективності будівель, покращенню звукоізоляції та забезпеченню більш комфортних умов роботи [4].

5. Навчання та сертифікація фахівців. Підвищення рівня професіоналізму фахівців через навчання та сертифікацію сприятиме більш ефективній установці, обслуговуванню та модернізації систем вентиляції та опалення [5].

Таким чином, перспективи розвитку систем вентиляції та опалення на СТО пов'язані з інтеграцією передових технологій, підвищенням екологічної відповідальності та покращенням умов праці.

#### 5. Етапи розробки систем вентиляції та опалення

Розробка систем вентиляції та опалення включає наступні етапи [3]:

1. Аналіз вимог. На цьому етапі проводиться аналіз потреб СТО, визначаються основні вимоги до системи та її параметрів.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2. Проектування. Розробляється проект системи, що включає схеми розташування обладнання, розрахунки параметрів роботи та інші необхідні документи.

3. Вибір обладнання. Вибираються конкретні моделі обладнання, що відповідають вимогам проекту та доступні ресурси.

4. Монтаж та пусконаладження. Здійснюється монтаж обладнання, підключення до інженерних мереж та проведення пусконаладжувальних робіт.

5. Тестування та введення в експлуатацію. Проводиться тестування системи на відповідність вимогам, усуваються виявлені недоліки та система вводиться в експлуатацію.

#### 6. Аналіз ефективності та економічної доцільності

Для аналізу ефективності та економічної доцільності систем вентиляції та опалення на станціях технічного обслуговування (СТО) необхідно враховувати низку факторів [5]:

1. Витрати обладнання: вартість вентиляторів, повітроводів, рекуператорів, кондиціонерів та інших компонентів системи.

2. Вартість електроенергії: витрати на експлуатацію обладнання, включаючи витрати на освітлення, опалення та кондиціонування повітря.

3. Вплив на комфорт та безпеку персоналу: забезпечення комфортних умов роботи, підтримання чистоти повітря та дотримання норм пожежної безпеки.

4. Довговічність та надійність системи: вибір якісних матеріалів та обладнання для мінімізації витрат на ремонт та обслуговування в майбутньому.

5. Простота монтажу та експлуатації: можливість швидкої установки та легкість керування системою.

6. Можливість інтеграції коїться з іншими системами будівлі: облік взаємодії із системами опалення, охолодження, зволоження тощо.

7. Екологічні аспекти: використання енергоефективних технологій для зниження негативного впливу на довкілля.

8. Відповідність законодавчим вимогам: дотримання санітарних норм, правил пожежної безпеки та інших законодавчих актів.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3. Ремонтпридатність: можливість швидкого ремонту або заміни компонентів системи, що вийшли з ладу, без значних витрат.

На підставі аналізу цих факторів можна зробити висновок про ефективність та економічну доцільність кожного типу системи вентиляції та опалення для конкретної станції технічного обслуговування.

Для вибору оптимального рішення необхідно провести аналіз ефективності та економічної доцільності кожного типу системи. Необхідно враховувати вартість обладнання, витрати на електроенергію, а також вплив на комфорт та безпеку персоналу [3].

7. Оптимальні рішення для створення ефективних та економічних систем вентиляції та опалення

Оптимальні рішення для створення ефективних та економічних систем вентиляції та опалення на станціях технічного обслуговування (СТО) залежать від конкретних умов та вимог до системи.

Для невеликих СТО з невисоким навантаженням на вентиляційну систему можна використовувати природну вентиляцію в поєднанні з рекуперацією тепла. Це дозволить знизити витрати та забезпечити достатню ефективність [2].

Великим СТО з високим навантаженням рекомендується використовувати механічну вентиляцію з рекуперацією або кондиціонування повітря. Це забезпечить більш точне керування параметрами повітря та покращить умови роботи персоналу [2].

Також при виборі оптимального рішення необхідно враховувати вартість обладнання, витрати на електроенергію, вплив на комфорт та безпеку персоналу, довговічність та надійність системи, простоту монтажу та експлуатації, можливість інтеграції з іншими системами будівлі, екологічні аспекти та відповідність законодавчим вимогам.

Вибір оптимального рішення залежить від конкретних умов та вимог до системи.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## 4.2 Розрахунок штучної вентиляції

4.3.1 Розрахунок необхідної питомої кількості повітря при нормальному мікрокліматі, обчислюємо за формулою:

$$V_{num} = \frac{V}{n} \text{ м}^3 / \text{чол}, \quad (4.1)$$

де  $V$  – об'єм дільниці,  $\text{м}^3$ ;

$$V = S \cdot H \text{ м}^3;$$

$S$  – площа приміщення,  $\text{м}^2$ ;

$$S = 81 \text{ м}^2;$$

$H$  – висота приміщення;

$$H = 6 \text{ м};$$

$n$  – кількість робітників на дільниці, чол;

$$n = 1 \text{ чол.}$$

$$V_{num} = \frac{81 \cdot 6}{1} = 486 \text{ м}^3 / \text{чол.}$$

Отже  $V_{num} \geq 20 \text{ м}^3$  то на одну людину потрібно кількість повітря  $L \text{ м}^3/\text{год}$

$$L \geq V_{num} \cdot n = 20 \cdot 1 = 20 \text{ м}^3 / \text{год},$$

$$L \geq 20 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

4.3.2 Надлишок кількості тепла, що виділяється на дільниці:

- Тепло, що виділяється на дільниці від світильників  $Q_{T.св.г}$  обчислюємо за формулою:

$$Q_T = 1000 \cdot N \cdot \eta, \text{ Вт}, \quad (4.2)$$

де  $N$  – потужність ламп освітлення, Вт,  $N = 0,360 \text{ Вт}$ ;

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$\eta$  – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову,  $\eta = 0,95$ ;

$$Q_1 = 1000 \cdot 0,36 \cdot 0,95 = 342 \text{ Вт.}$$

- Тепло, що виділяється організмом людини визначається:

$$Q_2 = q \cdot n, \text{ Вт,} \quad (4.3)$$

де  $q$  – тепло, що виділяється організмом однієї людини, Вт;

$$Q_2 = 200 \cdot 1 = 200 \text{ Вт.}$$

Тепло, що виділяється при роботі обладнання визначаємо за формулою:

$$Q_3 = 1000 \cdot N \cdot \eta, \text{ Вт,} \quad (4.4)$$

де  $N$  – номінальна потужність електрообладнання;

$$N = N_1 + N_2, \text{ кВт;}$$

$N_1$  – номінальна потужність двигунів;

$N_2$  – номінальна потужність нагрівача;

$\eta$  – коефіцієнт загальний при роботі без охолоджувачів, дорівнює  $\eta = 0,25$ .

$$Q_3 = 1000 \cdot 36 \cdot 0,25 = 9000, \text{ Вт.}$$

Тепло від сонячної радіації визначається за формулою:

$$Q_4 = F_g \cdot q_{\text{ост.}} \cdot A_{\text{ост.}}, \text{ Вт,} \quad (4.5)$$

де  $F_g$  – площа вікон;

$q_{\text{ост.}}$  – теплопоступлення від сонячної радіації через 1 м<sup>2</sup> скла,  $q_{\text{ост.}} = 75 \text{ Вт/м}^2$ ;

$A_{\text{ост.}}$  – коефіцієнт, який залежить від характеру застосування і сонцезахисних властивостей  $A_{\text{ост.}} = 1,45$  Вт.

$$Q_4 = 5,4 \cdot 75 \cdot 1,45 = 587,25, \text{ Вт.}$$

Сумарна кількість тепла обчислюється за формулою:

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 342 + 200 + 9000 + 587,25 = 10129,45, \text{ Вт.} \quad (4.6)$$

4.3.3 Кількість повітря, яке необхідне для видалення тепла з дільниці визначається:

$$L = \frac{3,6 \cdot \sum Q}{c \cdot \rho (t_g - t_{np})}, \text{ м}^3/\text{ГОД} \quad (4.7)$$

де  $c$  – питома теплоємність повітря, кДж/м<sup>3</sup>,  $c=1$  кДж/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;

$t_g$  – температура повітря, °С;

$$t_a = t_{a,\zeta} + k(H - 2), \text{ °С}, \quad (4.8)$$

де  $t_{p.з}$  – температура робочої зони °С,  $t_{p.з} = 23$  °С;

$K$  – коефіцієнт, що враховує збільшення температури по висоті,  $K=1,5$ ;

$t_{id}$  – температура приточного повітря °С,  $t_{np} = 18$  °С.

$$t_g = 23 + 1,5 \cdot (18 - 2) = 29, \text{ °С},$$

$$L = \frac{3,6 \cdot 10129,25}{1 \cdot 1,2 \cdot (29 - 18)} = 2762,52 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

4.3.4 Кратність повітреобміну визначаємо за формулою:

$$K = \frac{L}{V} = \frac{2762,52}{486} = 5,68.$$

4.3.5 Швидкість повітря в повітрепроводі приймаємо  $v = 5$  м/с.

4.3.6 Повітря подається через 6 розподілювачів, тому розхід кожного з розподілювачів визначається за формулою:

$$L_{Pi} = \frac{L_g}{6} = \frac{5200}{6} = 916,67 \text{ м}^3/\text{ГОД}. \quad (4.9)$$

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4.3.7 Визначаємо площу поперечного перерізу трубопровода  $S$ ,  $\text{м}^2$  обчислюємо за формулою:

$$S = \frac{L_{pi}}{v_n} = \frac{916,67}{5 \cdot 3600} = 0,051 \text{ м}^2. \quad (4.10)$$

4.3.8 Визначаємо опір сітки найдовшої магістралі обчислюємо за формулою:

$$\Delta P_M = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \text{ Па} \quad (4.11)$$

де  $l$  – довжина трубопроводів,  $l_1=10$  м,  $l_{2,3}=8$  м,  $l_{4,5}=6$  м,  $l_6=4$  м.

$\Delta P_i$  – опір сітки на ділянка трубопровода;

$$\Delta P_i = \Delta P_{imm} + \Delta P_{имм}, \text{ Па}, \quad (4.12)$$

$\Delta P_{imm}$  – втрати на тертя, Па;

$\Delta P_{имм}$  – втрати в місцевих опорах;

$$\Delta P_i = \Delta P_{mp} \cdot l, \text{ Па}, \quad (4.13)$$

де  $\Delta P_{mp}$  – втрата тиску на одиницю довжини лінії.

Результати розрахунку заносимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок загального опору сітки

$L$ , $\text{м}^3/\text{год}$	$l_i$ , м	$\Delta P_{им0}$ , Па	$\Delta P_{три}$ , Па	$\sum \xi$	$\Delta P_i$ , Па	$V_{п}$ , м/с
916,67	10	28,5	16,8	1,9	45,3	5
916,67	8	33,6	19,7	1,5	53,3	6,1
916,67	8	33,6	19,7	1,5	53,3	6,1
916,67	6	66,9	12,9	2,2	79,8	7,1
916,67	6	66,9	12,9	2,2	79,8	7,1
916,67	4	77,8	6,2	3,8	84	5,8

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

	Всього		395,5	
--	--------	--	-------	--

Втрати тиску на одиницю довжини  $\Delta P_{mp}$ , Па, обчислюємо за формулою:

$$\Delta P_{mp} = \lambda \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{v_n^2}{2} \cdot \rho, \text{ Па}, \quad (4.14)$$

де  $d$  – діаметр трубопроводу, м;

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\Pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,051}{3,14}} = 0,25 \text{ м.}$$

$\lambda$  – коефіцієнт тертя;

$$\lambda = \frac{0,1266}{(\text{Re})^{116}}, \quad (4.15)$$

де – число Рейнольдса;

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,25}{15 \cdot 10^{-6}} = 8 \cdot 10^4. \quad (4.16)$$

$$\lambda = \frac{0,1266}{(8 \cdot 10^{-4})^{116}} = 0,028.$$

Витрати тиску на найдовшій лінії по тертю  $\Delta P_{mp}$ , Па:

$$\Delta P_{mp} = 1,68 \cdot 10 = 16,8 \text{ Па.}$$

Втрати тиску на місцевих опорах:

$$\Delta P_{имм} = \sum \xi \frac{v^2 \cdot \rho}{2}, \quad (4.17)$$

$\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів на даній ділянці повітрепроводу на лінії 1. Інші опори показані в таблиці 4.5.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$\xi_1 = 1,4$  – місцевий розподільувач;

$\xi_2 = 0,4$  – відвід на  $90^\circ$ ,  $R/d=1,5$ ;

$\xi_3 = 0,1$  – трійник.

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1,4 + 0,4 + 0,1 = 1,9, \quad (4.18)$$

$$\Delta P_{i.m.m} = \frac{19,5^2 \cdot 1,2}{2} = 28,5 \text{ Па.}$$

Для інших ліній проводимо обчислення за формулами 5.12...5.18, результати обчислень заносимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.6 – Коефіцієнти місцевих опорів

Елементи повітрепроводу	$\xi$
Повітряний розподільувач	1,4
Відвід	0,4
Трійник	0,1
Трійник на проході	0,9
Трійник на проході і два відводи	0,8
Відвід. Дифузор для вентилятора	0,8
Повітрерозподільувач	2,4
Трійник на розгалуженні	3

Схема вентиляції мережі показана на рисунку 4.1

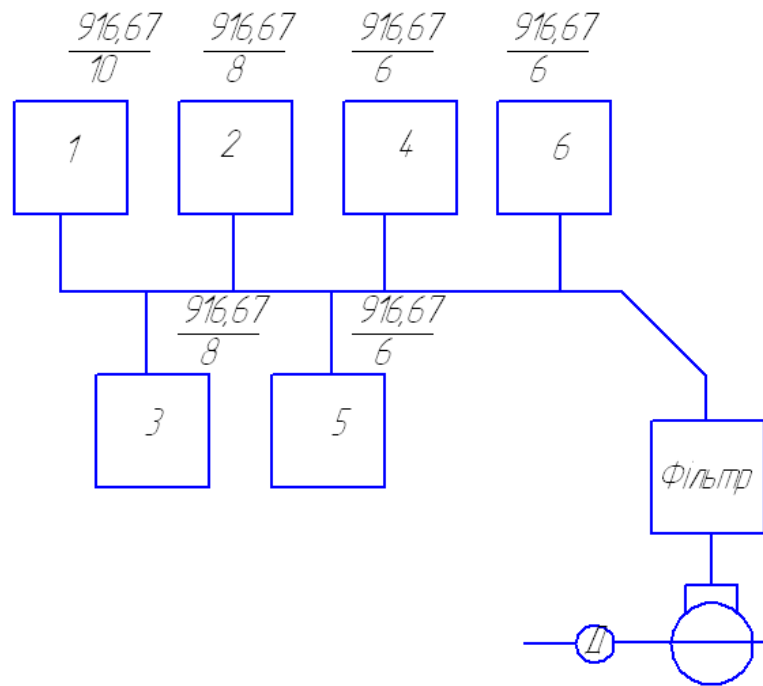


Рисунок 4.1 – Схема вентиляційної мережі

Необхідна подача вентилятора з рахуванням запасу на передбачені опори:

$$\Delta P_{\text{ааі}} = \Delta P \cdot 1,1, \quad (4.19)$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6, \text{ Па}$$

$$\Delta P = 45,3 + 53,3 + 53,3 + 79,8 + 79,8 + 84,02 = 395,5 \text{ Па,}$$

$$\Delta P_{\text{вен}} = 395,5 \cdot 1,1 = 435,1 \text{ Па.}$$

Виходячи з необхідної подачі  $L=5500 \text{ м}^3/\text{год}$  втрати тиску на лінії  
 $\Delta P_{\text{вих}} = 435,1 \text{ Па}$  приймаємо вентилятор Ц-4-74.

Вентилятор Ц-4-76з характеристиками:

$L=5000 \text{ м}^3/\text{год}$ ,

ККД=0,55,

$P_v=2 \text{ кПа}$ ,

$n=2800 \text{ об/хв}$ .

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3.9 Потужність електродвигуна вентилятора обчислюємо за формулою:

$$N_{ос} = \frac{L \cdot P}{3,6 \cdot \eta_v \cdot \eta_n} \cdot 10^{-6}, \text{ кВт} \quad (4.20)$$

де  $L$  – подача вентилятора, м<sup>3</sup>/год,  $L = 5000$  м<sup>3</sup>/год;

$P_v$  – тиск, який створюється вентилятором,  $P_v = 2$  кПа;

$\eta_v$  – ККД вентилятора,  $\eta_v = 0,55$ ;

$\eta_n$  – ККД передачі для муфти,  $\eta_n = 0,98$ .

$$N_{ос} = \frac{5000 \cdot 2000}{3,6 \cdot 0,55 \cdot 0,98} \cdot 10^{-6} = 5,1, \text{ кВт}$$

Приймаємо двигуни асинхронний, трьохфазний. Тип 4AA100LY3 потужністю 5,5 кВт.

При раціональній організації робочого місця слід більше уваги звернути на освітлення діляниць за допомогою природного і штучного освітлення. При незадовільному освітленні зорова властивість, яка зменшується, може призвести до виникнення захворювань (короткозорості, різь в очах, головний біль). Для того щоб запобігти даним захворювань додатково до природного встановлюються штучне освітлення на робочому місці.

#### Висновки до розділу 4

Розробка ефективних систем вентиляції та опалення є важливим аспектом створення комфортних умов праці на СТО та забезпечення високої якості послуг. Правильний вибір типу системи, її проектування та монтаж дозволяють створити оптимальні умови для роботи персоналу та підвищити ефективність діяльності СТО.

Слід підкреслити, що розробка та впровадження ефективних систем вентиляції та опалення на станціях технічного обслуговування автомобілів відіграють ключову роль у створенні комфортних умов праці для персоналу, підвищенні якості послуг та забезпеченні безпеки клієнтів [3].

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведений аналіз вимог до таких систем, вивчення різних типів вентиляційних та опалювальних установок, а також розгляд етапів їх проектування та монтажу дозволяють зробити висновок про важливість комплексного підходу до вирішення цього завдання.

Перспективи розвитку систем вентиляції та опалення пов'язані з впровадженням інтелектуальних технологій управління, використанням відновлюваних джерел енергії, покращенням систем фільтрації повітря та застосуванням сучасних матеріалів. Це дозволить не лише підвищити ефективність роботи СТО, а й знизити вплив на довкілля [4].

Таким чином, враховуючи всі аспекти розробки систем вентиляції та опалення, можна створити оптимальні умови для роботи персоналу та забезпечити високу якість послуг на станціях технічного обслуговування.

					MP. ATm – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі: «Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ», описано діяльність ТзОВ «Богдан-Авто». Вона вирізняється комплексністю послуг – від продажу автомобілів та запчастин до сервісного й гарантійного обслуговування. Орієнтація на клієнта, професійність персоналу та використання сучасних технологій забезпечують високу якість робіт, формують довіру й лояльність споживачів та зміцнюють конкурентні позиції підприємства на ринку. В розділі 2 розглянуто автомобільні системи накопичення енергії включають акумулятори, суперконденсатори та гібридні рішення. Акумулятори забезпечують високу енергоемність, суперконденсатори — потужність і швидкість, а комбіновані системи поєднують їхні переваги. Подальший розвиток пов'язаний із новими матеріалами та «розумним» керуванням енергопотоками.

В розділі 3 проведено розрахунок енергоефективності автомобілів. Зміна енергії автомобіля залежить від довжини мірної ділянки та умов руху; відносна зміна є показником ефективності, має нелінійний характер і використовується для оптимізації досліджень та оцінки енергоефективності.

В розділі 4 розглянуто ефективні системи вентиляції та опалення на СТО забезпечують комфорт, якість послуг і безпеку, а їх розвиток пов'язаний із сучасними технологіями та екологічними рішеннями.

					МР. АТм – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Mateichyk, V.; Kostian, N.; Smieszek, M.; Mosciszewski, J.; Tarandushka, L. Evaluating Vehicle Energy Efficiency in Urban Transport Systems Based on Fuzzy Logic Models. *Energies* **2023**, 16, 734. [CrossRef]
2. Volkov, V.P.; Vilskyi, H.B. *Teoriia Rukhu Avtomobilia (Car Motion Theory)*; VTD “Universytetska Knyha”: Sumy, Ukraine, 2021; 320p. (In Ukrainian)
3. Mediouni, H.; Ezzouhri, A.; Charouh, Z.; El Harouri, K.; El Hani, S.; Ghogho, M. Energy Consumption Prediction and Analysis for Electric Vehicles: A Hybrid Approach. *Energies* **2022**, 15, 6490. [CrossRef]
4. Huertas, J.I.; Giraldo, M.; Quirama, L.F.; Díaz, J. Driving Cycles Based on Fuel Consumption. *Energies* **2018**, 11, 3064. [CrossRef]
5. Achour, H.; Olabi, A.G. Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation. *J. Clean. Prod.* **2016**, 112, 1778–1788. [CrossRef]
6. André, M.; Joumard, R.; Vidon, R.; Tassel, P.; Perret, P. Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars. *Atmos. Environ.* **2006**, 40, 5944–5953. [CrossRef]
7. Ho, S.; Wong, Y.; Chang, V.W. Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. *Atmos. Environ.* **2014**, 97, 353–362. [CrossRef]
8. Hung, W.T.; Tong, H.Y.; Lee, C.P.; Ha, K.; Pao, L.Y. Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transp. Res. Part D* **2007**, 12, 115–128. [CrossRef]
9. Chen, Y.; Wu, G.; Sun, R.; Dubey, A.; Laszka, A.; Pugliese, P. A Review and Outlook of Energy Consumption Estimation Models for Electric Vehicles. *SAE J. STEEP* **2021**, 2, 79–96. [CrossRef]

					MP. АТМ – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Sun, D.J.; Zheng, Y.; Duan, R. Energy consumption simulation and economic benefit analysis for urban electric commercial vehicles. *Transp. Res. Part D* **2021**, 101, 103083. [CrossRef]
11. Kambly, K.R.; Bradley, T.H. Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles. *J. Power Sources* **2014**, 259, 117–124. [CrossRef]
12. Lee, J.T.; Kwon, S.; Lim, Y.; Chon, M.S.; Kim, D. Effect of Air-Conditioning on Driving Range of Electric Vehicle for Various Driving
1. Mateichyk, V.; Kostian, N.; Smieszek, M.; Mosciszewski, J.; Tarandushka, L. Evaluating Vehicle Energy Efficiency in Urban Transport Systems Based on Fuzzy Logic Models. *Energies* **2023**, 16, 734. [CrossRef]
2. Volkov, V.P.; Vilskyi, H.B. *Teoriia Rukhu Avtomobilia (Car Motion Theory)*; VTD “Universytetska Knyha”: Sumy, Ukraine, 2021; 320p. (In Ukrainian)
3. Mediouni, H.; Ezzouhri, A.; Charouh, Z.; El Harouri, K.; El Hani, S.; Ghogho, M. Energy Consumption Prediction and Analysis for Electric Vehicles: A Hybrid Approach. *Energies* **2022**, 15, 6490. [CrossRef]
4. Huertas, J.I.; Giraldo, M.; Quirama, L.F.; Díaz, J. Driving Cycles Based on Fuel Consumption. *Energies* **2018**, 11, 3064. [CrossRef]
5. Achour, H.; Olabi, A.G. Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation. *J. Clean. Prod.* **2016**, 112, 1778–1788. [CrossRef]
6. André, M.; Joumard, R.; Vidon, R.; Tassel, P.; Perret, P. Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars. *Atmos. Environ.* **2006**, 40, 5944–5953. [CrossRef]
7. Ho, S.; Wong, Y.; Chang, V.W. Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. *Atmos. Environ.* **2014**, 97, 353–362. [CrossRef]

					MP. АТМ – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

8. Hung, W.T.; Tong, H.Y.; Lee, C.P.; Ha, K.; Pao, L.Y. Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transp. Res. Part D* **2007**, *12*, 115–128. [CrossRef]
9. Chen, Y.; Wu, G.; Sun, R.; Dubey, A.; Laszka, A.; Pugliese, P. A Review and Outlook of Energy Consumption Estimation Models for Electric Vehicles. *SAE J. STEEP* **2021**, *2*, 79–96. [CrossRef]
10. Sun, D.J.; Zheng, Y.; Duan, R. Energy consumption simulation and economic benefit analysis for urban electric commercial vehicles. *Transp. Res. Part D* **2021**, *101*, 103083. [CrossRef]
11. Kambly, K.R.; Bradley, T.H. Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles. *J. Power Sources* **2014**, *259*, 117–124. [CrossRef]
12. Lee, J.T.; Kwon, S.; Lim, Y.; Chon, M.S.; Kim, D. Effect of Air-Conditioning on Driving Range of Electric Vehicle for Various Driving Modes; SAE Technical Paper; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2013. [CrossRef]
40. Carlson, A.; Hammarström, U.; Eriksson, O. Models and Methods for the Estimation of Fuel Consumption due to Infrastructure Parameters. Deliverable 2.1 in MIRAVEC—Modelling Infrastructure Influence on Road Vehicle Energy Consumption, Project No. 832615, ERA NET Road. 2013. Available online: [https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/03\\_miravec\\_d2.1\\_v5.0.pdf](https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/03_miravec_d2.1_v5.0.pdf) (accessed on 10 June 2023).
41. Carlson, A.; Karlsson, R.; Eriksson, O. Energy Use Due to Traffic and Pavement Maintenance: The Cost Effectiveness of Reducing Rolling Resistance, VTI Notat 9A-2016; Statens Väg-Och Transportforskningsinstitut: Linköping, Sweden, 2016; p. 84. Available online: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:925846/FULLTEXT01.pdf> (accessed on 10 June 2023).

					MP. АТМ – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

42. Carlson, A.; Vieira, T. The Effect of Water and Snow on the Road Surface on Rolling Resistance; Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI): Linköping, Sweden, 2021. [CrossRef]
43. Wang, T.; Lee, I.-S.; Kendall, A.; Harvey, J.; Lee, E.-B.; Kim, C. Life cycle energy consumption and GHG emission from pavement rehabilitation with different rolling resistance. *J. Clean. Prod.* **2012**, *33*, 86–96. [CrossRef]
44. Holden, J.; Van Til, H.; Wood, E.; Zhu, L.; Gonder, J.; Shirk, M. Trip Energy Estimation Methodology and Model Based on Real-World Driving Data for Green-Routing Applications. *Transp. Res. Rec.* **2018**, *2672*, 41–48. [CrossRef]
45. Lutsyk, I.B.; Fendo, O.M.; Iskerskyi, I.S. Alternative power plants for vehicles. *Energy Autom.* **2014**, *1*, 75–82.
46. Hissler, C. How to Determine the Fuel Consumption for a Hydrogen Light Commercial Vehicle Project to Be Competitive? Master’s Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2022. Available online: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-318825> (accessed on 30 June 2023).
47. ISO 23828:2022(E); Fuel Cell Road Vehicles—Energy Consumption Measurement—Vehicles Fuelled with Compressed Hydrogen. ISO: Geneva, Switzerland, 2022. Available online: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/78416/c608ecee3d8747fa8274c552a153f9b4/ISO-23828-2022.pdf> (accessed on 30 June 2023).
48. Usmanov, U. Review on Rule-Based Energy Management Strategies of Hybrid Electric Vehicles. *Universum: Tech. Sci.* **2022**, *10*, 57–61. Available online: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14386> (accessed on 30 June 2023). (In Russian).
49. Martyushev, N.V.; Malozyomov, B.V.; Khalikov, I.H.; Kukartsev, V.A.; Kukartsev, V.V.; Tynchenko, V.S.; Tynchenko, Y.A.; Qi, M.

					MP. АТМ – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Review of Methods for Improving the Energy Efficiency of Electrified Ground Transport by Optimizing Battery Consumption.

Energies **2023**, 16, 729. [CrossRef]

50. Luciani, S.; Tonoli, A. Control Strategy Assessment for Improving PEM Fuel Cell System Efficiency in Fuel Cell Hybrid Vehicles.

Energies **2022**, 15, 2004. [CrossRef]

51. Lahlou, A.; Ossart, F.; Boudard, E.; Roy, F.; Bakhouya, M. A Real-Time Approach for Thermal Comfort Management in Electric

Vehicles. Energies **2020**, 13, 4006. [CrossRef]

52. Patrone, G.L.; Paffumi, E.; Otura, M.; Centurelli, M.; Ferrarese, C.; Jahn, S.; Brenner, A.; Thieringer, B.; Braun, D.; Hoffmann, T.

Assessing the Energy Consumption and Driving Range of the QUIET Project Demonstrator Vehicle. Energies **2022**, 15, 1290.

[CrossRef]

53. Kanarachos, S.; Mathew, J.; Fitzpatrick, M. Instantaneous vehicle fuel consumption estimation using smartphones and Recurrent

Neural Networks. Expert Syst. Appl. **2019**, 120, 436–447. [CrossRef]

54. Ma, N.; Yin, H.; Wang, K. Prediction of the Remaining Useful Life of Supercapacitors at Different Temperatures Based on

Improved Long Short-Term Memory. Energies **2023**, 16, 5240. [CrossRef]

55. Yi, Z.; Chen, Z.; Yin, K.; Wang, L.; Wang, K. Sensing as the key to the safety and sustainability of new energy storage devices. Prot.

Control Mod. Power Syst. **2023**, 8, 27. [CrossRef]

56. Gallo, M.; Marinelli, M. The Impact of Fuel Cell Electric Freight Vehicles on Fuel Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions: The Case of

Italy. Sustainability **2022**, 14, 13455. [CrossRef]

					MP. АТМ – 68.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **ДОДАТКИ**

**ТЕМА РОБОТИ:** АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ  
ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ТОВАРИСТВА З  
ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОГДАН-АВТО»,  
М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК.

**ВИКОНАВ:** ст.гр. АТм-24-1 Р.А. Пронь

**НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:** асист. Войцехівська Т.Й.

Метою дослідження є **аналіз методів оцінювання енергетичної ефективності автомобілів**. Для її досягнення необхідно визначити систему показників, що дозволяє здійснювати порівняльний аналіз енергоефективності різних моделей транспортних засобів.

Об'єкт дослідження

Транспортні засоби (легкові, вантажні, автобуси тощо) у процесі експлуатації, зокрема їх енергоспоживання та ефективність використання палива й енергії.

Предмет дослідження

Система показників та методів оцінювання енергоефективності, яка охоплює:

- питомі витрати палива (л/100 км, г/кВт·год);
- коефіцієнт корисної дії двигуна;
- рівень викидів CO<sub>2</sub> на одиницю пройденого шляху;
- енергоємність транспортного процесу (витрати енергії на перевезення 1 пасажера чи 1 тонни вантажу);
- інтегральні індекси енергоефективності (наприклад, Energy Efficiency Ratio – EER).

Методи дослідження

- **Теоретичні:** аналіз і синтез літератури, нормативів та стандартів (WLTP, NEDC, FTP-75, ISO); порівняльний аналіз показників різних типів транспортних засобів; моделювання енергоспоживання та розрахунок інтегральних індексів.

- **Експериментальні:** вимірювання витрат палива й енергії у реальних умовах; визначення рівня викидів; тестування за стандартними їздовими циклами; лабораторні випробування двигунів і трансмісій.

- **Аналітичні:** статистичний аналіз даних, SWOT-аналіз технологій, інтегральна оцінка енергоефективності.

- **Практичні:** спостереження та моніторинг роботи автомобілів; економічний аналіз витрат на паливо/енергію; перевірка відповідності нормативам і стандартам.

Наукова новизна

Запропоновано класифікацію показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів (паливні, екологічні, експлуатаційні, інтегральні), що забезпечує комплексний підхід до оцінки ефективності використання енергії.

Практичне значення

Систематизовані показники енергоефективності можуть застосовуватися транспортними підприємствами для комплексної оцінки роботи легкових автомобілів, автобусів та вантажних машин, сприяючи підвищенню ефективності перевезень і зниженню витрат.

## Основні пристрої для зберігання енергії в автомобілях

- **Акумуляторні батареї**
  - Свинцево-кислотні — традиційні, дешеві, але важкі та з обмеженим ресурсом.
  - Літій-іонні — сучасний стандарт для електромобілів, висока енергоємність і довговічність.
  - Літій-залізо-фосфатні (LFP) — безпечніші, стійкі до перегріву, але менш енергоємні.
  - Твердотільні — перспективні, з високою щільністю енергії та безпечнішими електролітами.
- **Суперконденсатори**
  - Відзначаються надзвичайно швидким зарядом і розрядом.
  - Використовуються для рекуперації енергії гальмування та підтримки пікових навантажень.
- **Гібридні системи (акумулятор + суперконденсатор)**
  - Поєднують високу енергоємність батарей і потужність конденсаторів.
  - Забезпечують баланс між тривалою роботою та швидкими енергетичними циклами.
- **Маховики (Flywheel Energy Storage)**
  - Використовують кінетичну енергію обертання.
  - Перспективні для спортивних авто та систем, де потрібна швидка віддача енергії.

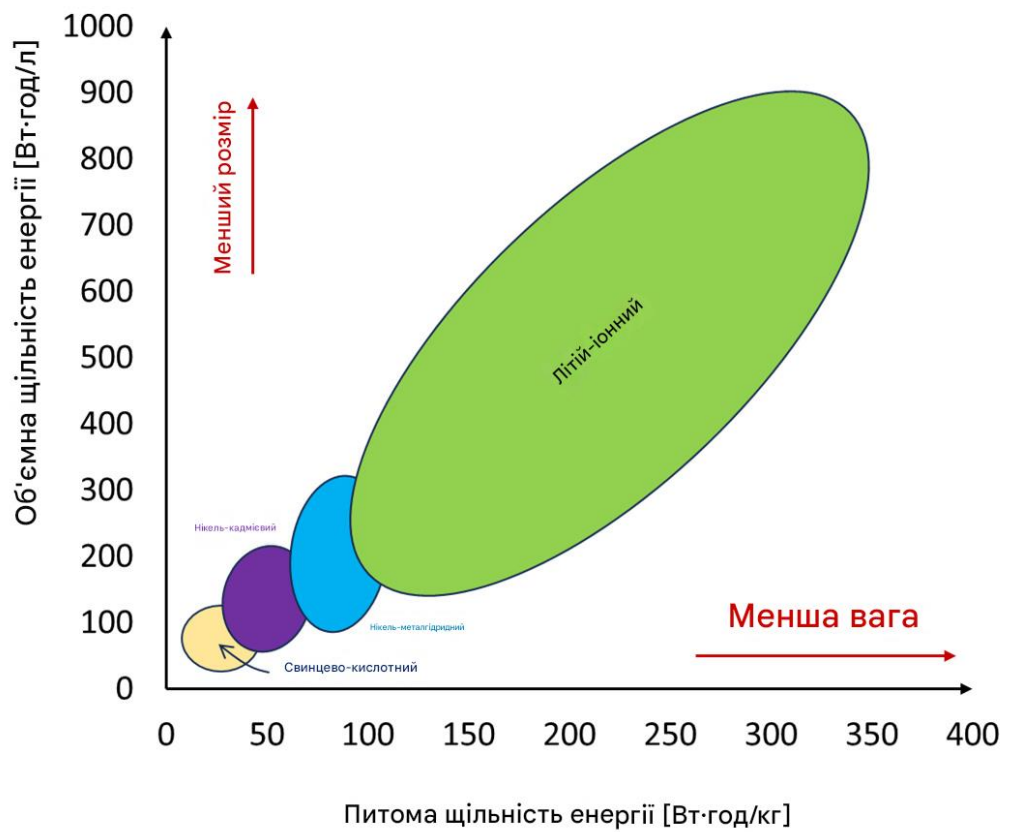


Рисунок 1 – Питома щільність енергії та об'ємна щільність енергії різних типів акумуляторів

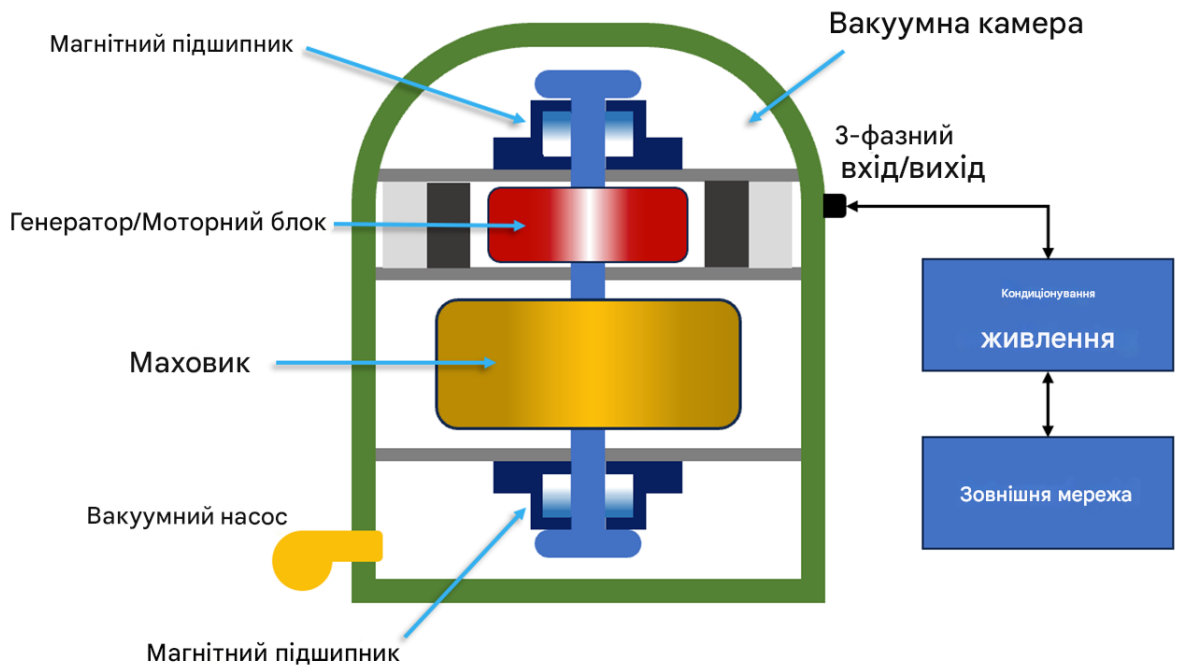


Рисунок 2 – Схематичне зображення високошвидкісного маховика.

↘ Критерій оцінки енергетичної економічності автомобіля

**Енергетична економічність** визначається співвідношенням між реально витраченою енергією та мінімально необхідною для подолання опорів руху. Це дозволяє оцінити, наскільки ефективно автомобіль використовує енергоресурси.

Основні показники:

- **Витрати палива або електроенергії** на одиницю пройденого шляху (л/100 км, кВт·год/км).
- **ККД силової установки та трансмісії**, що відображає втрати енергії в системах.
- **Відносна зміна енергії** – порівняння фактичних витрат із теоретично мінімальними.
- **Аеродинамічні характеристики** та опір коченню, які визначають базовий рівень енергоспоживання.
- **Інтегральні індекси** (наприклад, енергоефективність у циклах руху WLTP, NEDC), що враховують реальні умови експлуатації.

Рівняння енергетичного балансу автомобіля має вигляд:

$$\Delta W_u = \frac{\int_0^{S_M} P_k dS}{\eta_o \cdot \eta_{mp}}, \quad (1)$$

де – з міна енергії джерела за час руху автомобіля на вимірному ділянці шляху;

$\Delta W_u$  – тягова сила на ведучих колесах автомобіля;

$S$  – шлях, прохідний автомобілем;

$S_M$  – довжина мірного ділянки шляху;

$\eta_o$  – е фективний коефіцієнт корисної дії двигуна;

$\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Для усталеного руху автомобіля можна застосовувати такі припущення:

$$\vec{V} = V = const, \quad (2)$$

$\vec{V}$  – середня швидкість автомобіля на вимірному ділянці шляху;

$V$  – миттєва швидкість автомобіля.

Тягова сила на ведучих колесах автомобіля в цьому випадку:

$$P_k = m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2, \quad (3)$$

Витрата енергії на одиницю довжини шляху:

$$\frac{\Delta W_u}{S_M} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}{\eta_o \cdot \eta_{mp}}. \quad (3.9)$$

Зміна енергії джерела при проходженні ділянки шляху довжиною  $S$ :

$$\Delta W_u = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}{\eta_o \cdot \eta_{mp}} S. \quad (3.10)$$

Якщо визначити мірне кількість енергії джерела, то шлях, прохідний автомобілем при витрачанні зазначеної кількості енергії дорівнюватиме  $\Delta W_{um}$ :

$$\frac{S_M}{\Delta W_u} = \frac{\eta_o \cdot \eta_{mp}}{m_a \cdot g \cdot \psi + K \cdot F \cdot V^2}. \quad (3.11)$$

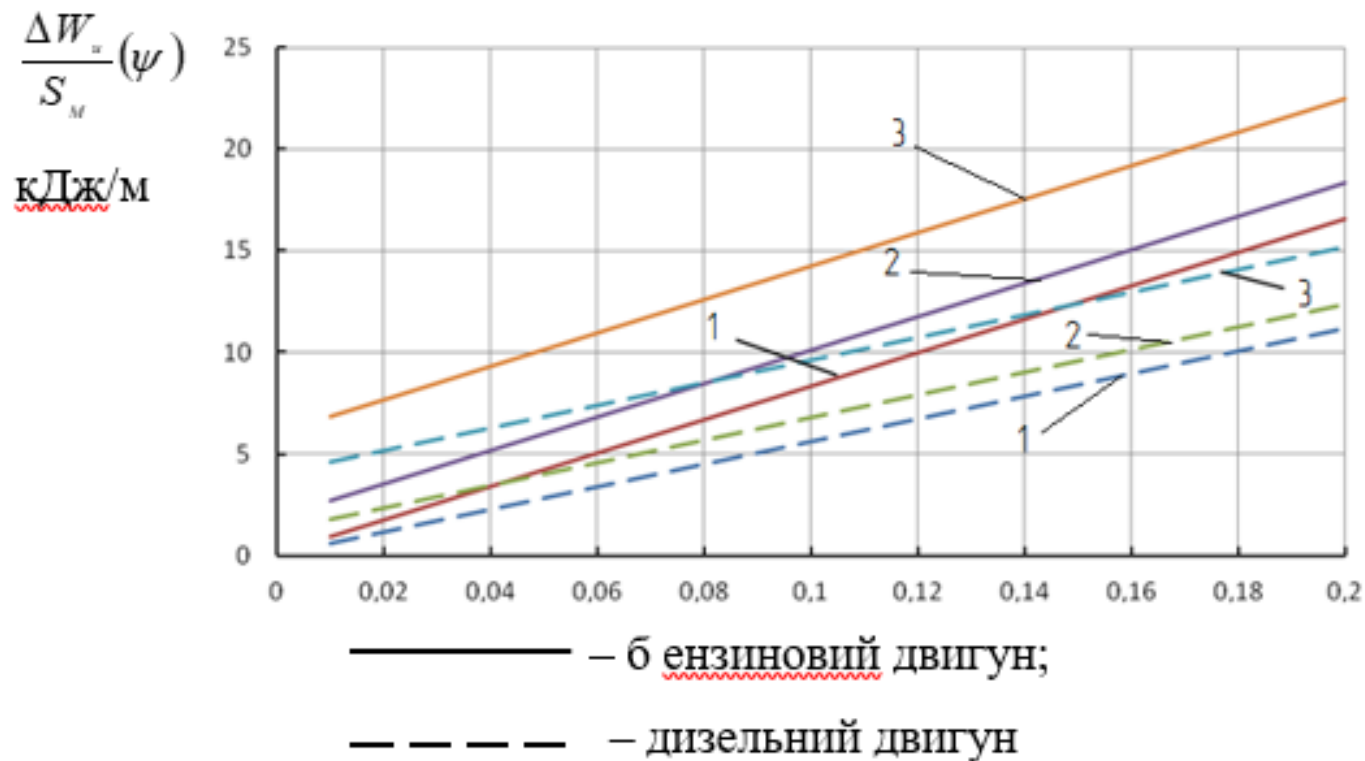
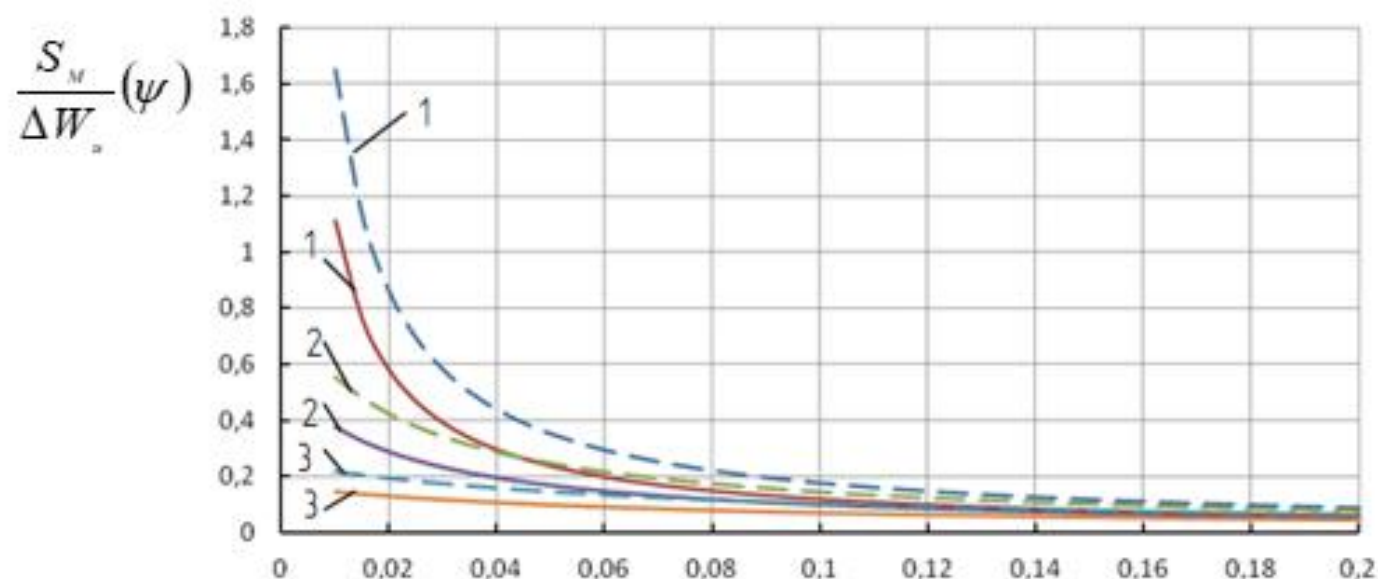


Рисунок 3|– Залежність відносини зміни енергії до довжини мірної діляки від коефіцієнта сумарного дорожнього опору: 1 – при швидкості руху  $V = 5$  м/с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.



$\psi$

- — бензиновий двигун;  
 - - - - - — дизельний двигун

Рисунк 4 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від коефіцієнта сумарного дорожнього опору: 1 – при швидкості руху  $V = 5$  м/с; 2 – при  $V = 25$  м/с; 3 – при  $V = 45$  м/с.

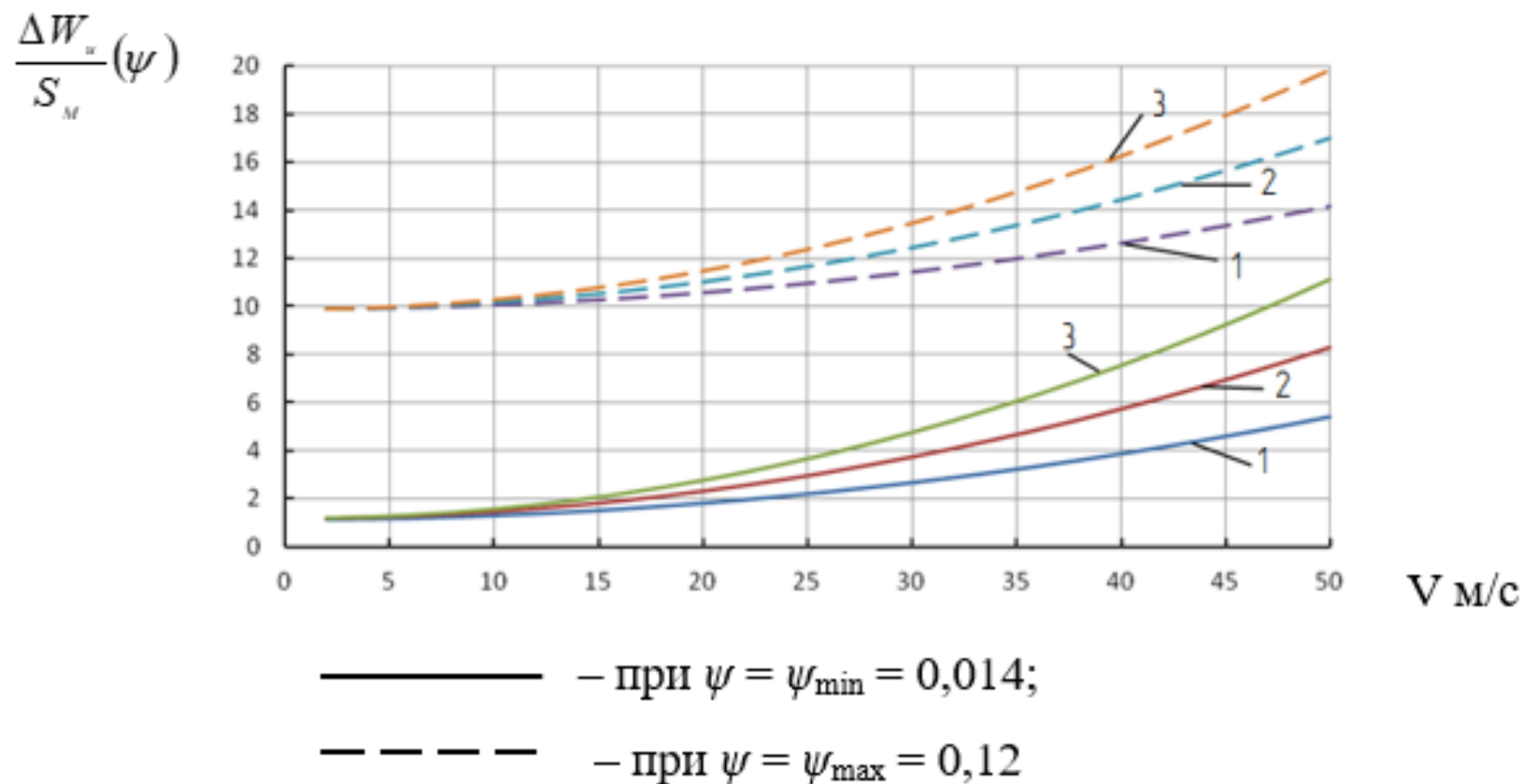


Рисунок 5| – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки

від сталої швидкості руху автомобіля з бензиновим двигуном:

1 – при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

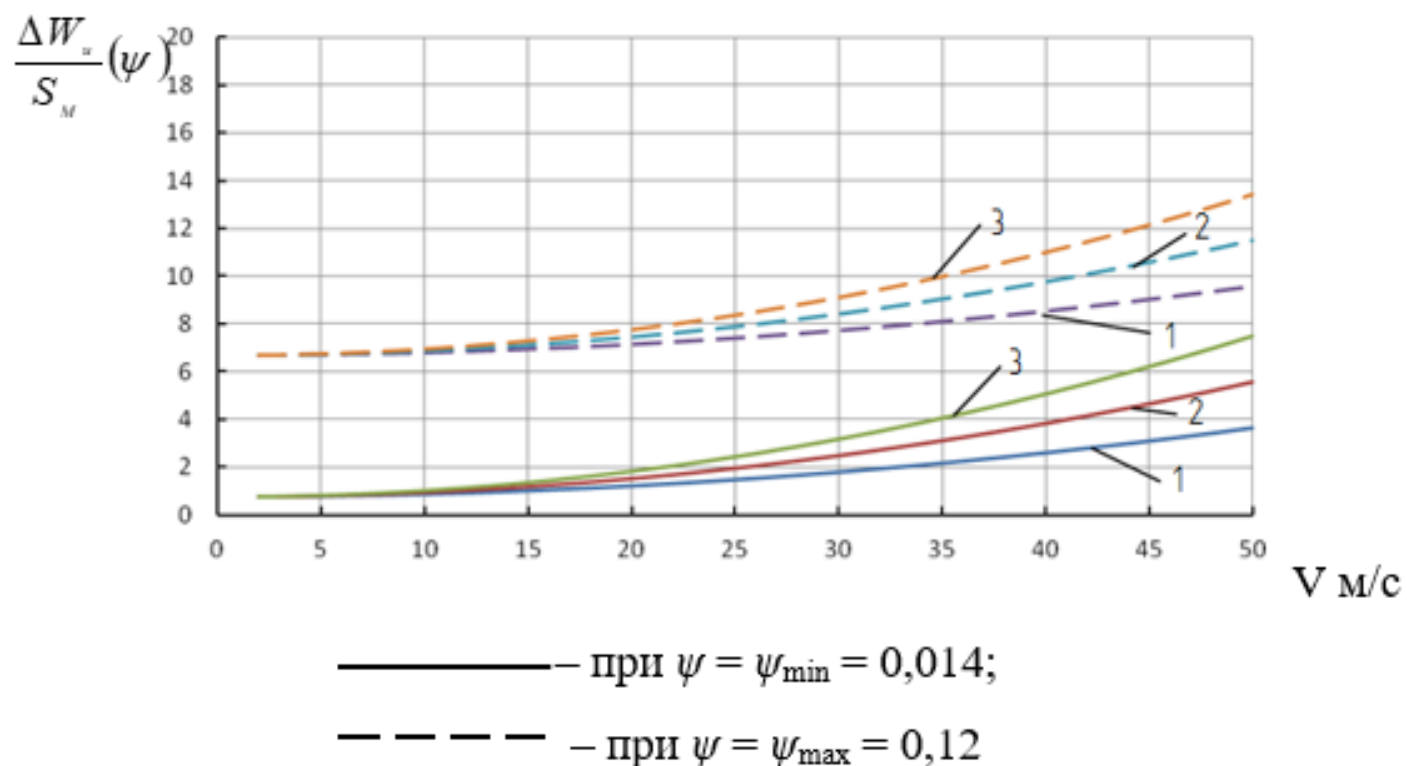


Рисунок 6 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки від сталої швидкості руху автомобіля з дизельним двигуном:

1 - при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 - при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 - при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

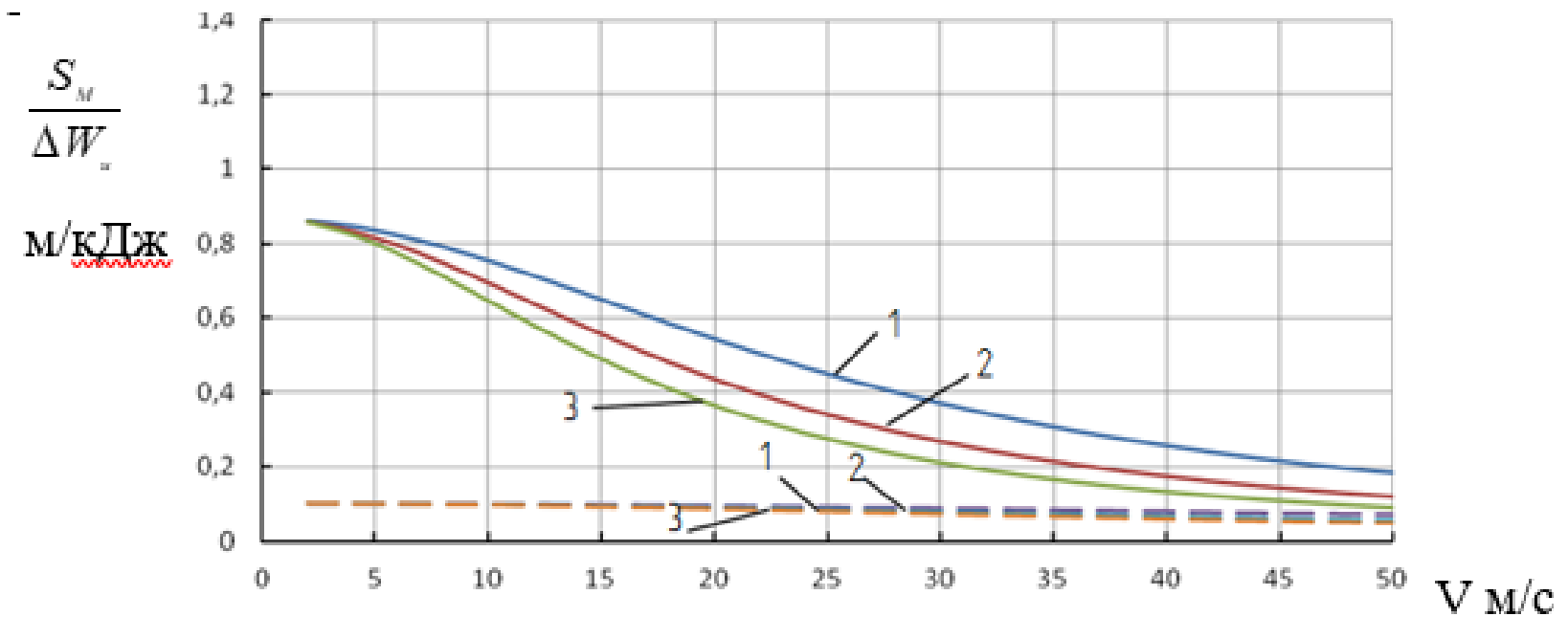


Рисунок 9.5 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля з бензиновим двигуном: 1 - при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 - при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 - при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

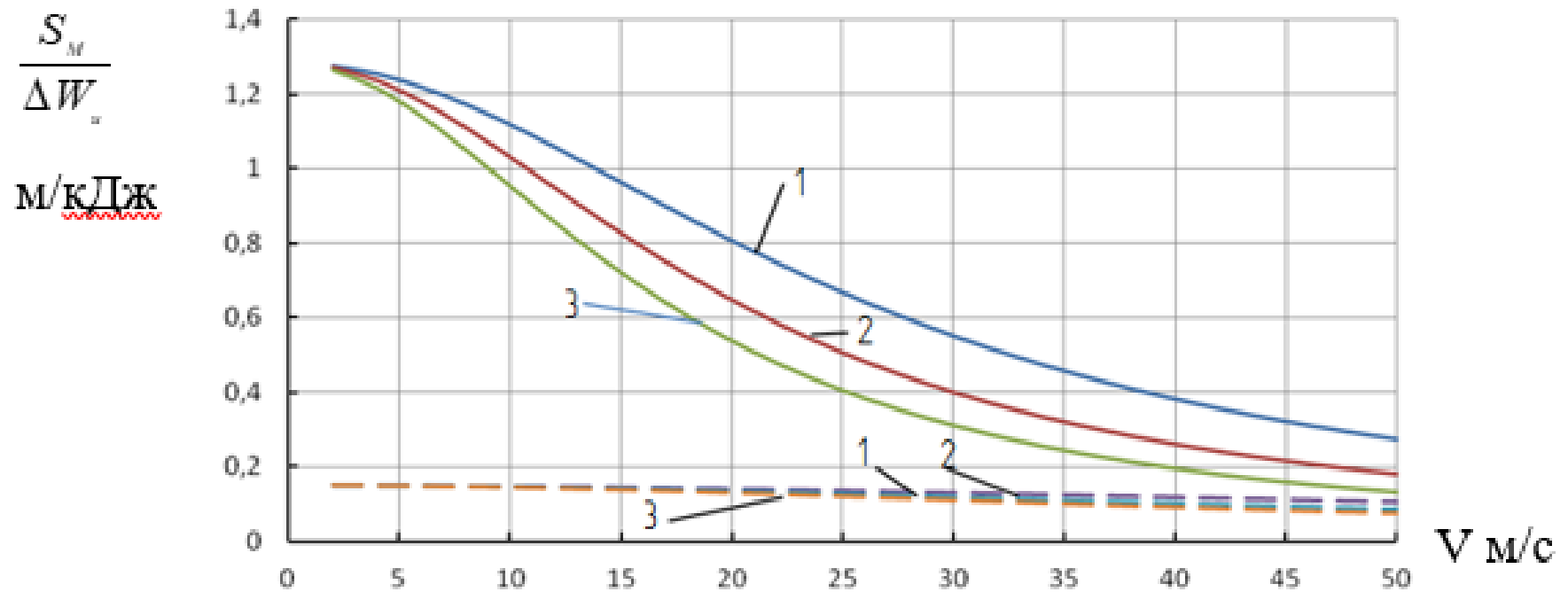


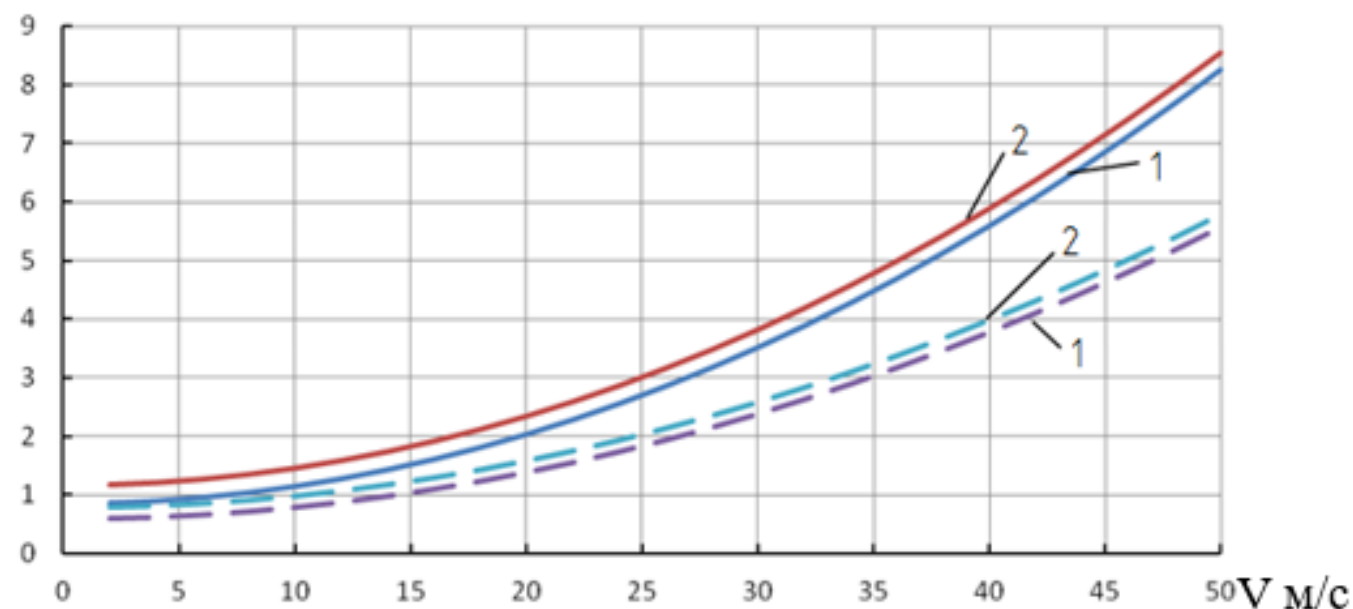
Рисунок 8| – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля з дизельним двигуном:

1 – при коефіцієнті обтічності автомобіля

$K = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 2 – при  $K = 0,25 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ; 3 – при  $K = 0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$

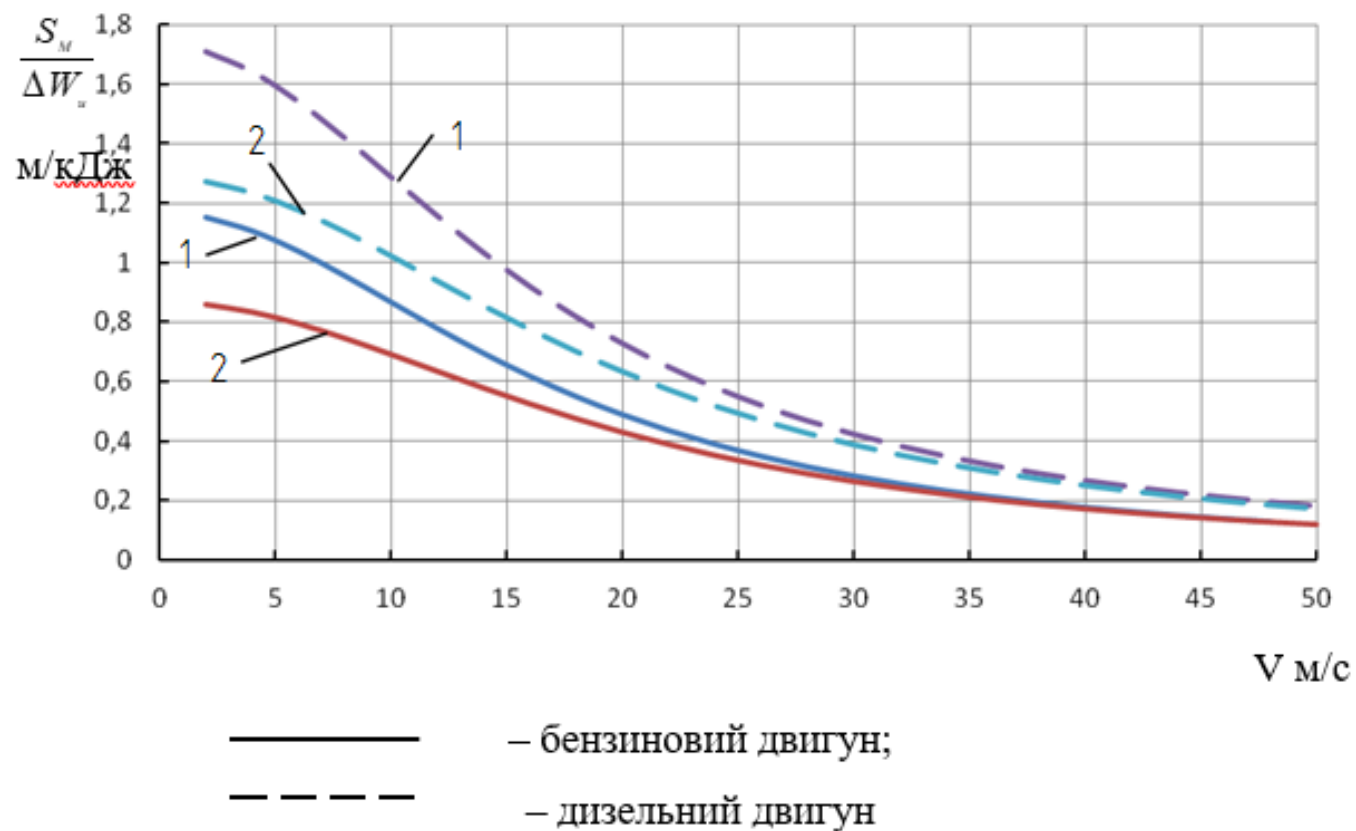
$$\frac{\Delta W_w}{S_M}$$

М/кДж



- — бензиновий двигун;  
 - - - - - — дизельний двигун

Рисунок 9 – Залежність відносини зміни енергії до довжини мірного ділянки від сталої швидкості руху автомобіля: 1 - при масі автомобіля  $m_a = m_a \text{ споряд} = 1400$  кг; 2 - при  $m_a = m_a \text{ повн} = 1890$  кг



Рисунк 10 – Залежність відношення довжини мірного ділянки до зміни енергії від сталої швидкості руху автомобіля: 1 - при масі автомобіля  $m_a = m_{a \text{ споряд}} = 1400 \text{ кг}$ ; 2 – при  $m_a = m_{a \text{ повн}} = 1890 \text{ кг}$

## Висновки

У магістерській роботі «Аналіз показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів в умовах ТзОВ «Богдан-Авто», м. Івано-Франківськ» досліджено діяльність підприємства, що поєднує продаж автомобілів і запчастин із сервісним та гарантійним обслуговуванням. Клієнтоорієнтованість, професійність персоналу та застосування сучасних технологій забезпечують високу якість послуг і конкурентоспроможність компанії.

- У розділі 2 розглянуто системи накопичення енергії: акумулятори, суперконденсатори та гібридні рішення, визначено їхні переваги та перспективи розвитку.

- У розділі 3 виконано розрахунок енергоефективності автомобілів, показано залежність зміни енергії від довжини мірної ділянки та умов руху, що дозволяє оптимізувати методику досліджень.

- У розділі 4 проаналізовано системи вентиляції й опалення на СТО, які забезпечують комфорт, безпеку та якість послуг, а їх удосконалення пов'язане з екологічними та інноваційними рішеннями.

**Загалом,** робота підтверджує значення комплексного підходу до оцінки енергоефективності транспортних засобів і розвитку сервісної інфраструктури.