

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки**

Кафедра механічної інженерії та автомобільного транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Дослідження перспективних напрямків підвищення ефективності
експлуатації транспортних засобів»

Виконав: студент групи ААГ-22м



Олександр МАНЗИК

Керівник:



Дмитро БЕГЕРСЬКИЙ

Завідувач кафедри:



Олександр МЕЛЬНИК

Рецензент:



Володимир Шчурляк

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки

Кафедра: механічної інженерії та автомобільного транспорту

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІ та АТ
Олександр МЕЛЬНИК

«06» 10 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «магістр»
Манзика Олександра Віталійовича

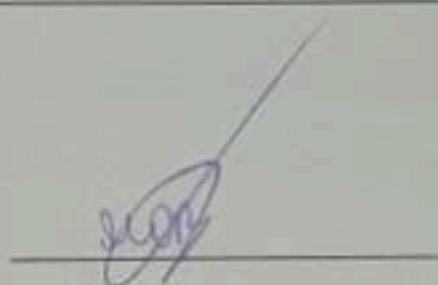
- 1.Тема роботи:** «Дослідження перспективних напрямків підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів» затверджена наказом вищого навчального закладу від 06 жовтня 2025 р. № 569-с
Керівник роботи: к.т.н., Дмитро БЕГЕРСЬКИЙ
- 2. Строк подання студентом завершеної роботи** 01.12.2025 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** літературні джерела, інтернет джерела, результати спостережень
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** 1. Огляд літератури і вибір напрямів досліджень. 2. Методологічні основи підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів. 3. Перспективні напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів. Загальні висновки та рекомендації.
- 5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 18 слайдів.**

Дата видачі завдання «06» жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Розділ 1. Огляд літератури і вибір напрямів досліджень	17.09.2025	Виконано
2.	Розділ 2. Методологічні основи підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів	22.10.2025	Виконано
3.	Розділ 4. Перспективні напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів	19.11.2025	Виконано
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.11.2025	Виконано
5.	Рецензування	01.12.2025	Виконано
6.	Попередній захист	04.12.2025	Виконано
7.	Захист	08.12-31.12.2025	Виконано

Студент



Олександр МАНЗИК

Керівник роботи



Дмитро БЕГЕРСЬКИЙ

ЗМІСТ

Вступ	6
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1. Наукова ретроспектива автомобілів	8
1.2. Розвиток гібридної технології	15
1.3. Напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів	18
1.4. Висновки до першого розділу	24
2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	25
2.1. Обґрунтування напрямку дослідження	25
2.2. Напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів	27
2.2.1. Удосконалення ДВЗ	27
2.2.2. Застосування альтернативного палива	28
2.3. Інерційні накопичувачі енергії	31
2.3.1. Теоретичне обґрунтування	31
2.3.2. Транспортні засоби з маховиками	35
2.3.3. Проблеми та перспективи застосування маховиків на транспорті	40
2.3.4. Розробка гібридної силової установки з маховиком	42
2.4. Висновки до другого розділу	43
3. ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	45
3.1. Сталий розвиток транспортних засобів	45
3.2. Енергозберігаючі технології на базі фотоелектричних перетворювачів	48
3.3. Адаптивний круїз-контроль на базі штучної нейронної мережі	51
3.4. Автомобільний бортовий реєстратор	57

3.5. Перспективні енергозберігаючі технології для транспортних засобів	60
3.5.1. Система рекуперації енергії транспортного засобу	61
3.5.2. Внутрішня система заднього виду	63
3.6. Висновки до четвертого розділу	66
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	70

Вступ

Дослідження негативних наслідків функціонування автотранспортного комплексу дозволяє виділити два основні напрямки впливу автомобільного транспорту на природне середовище, враховуючи його недостатньо високий рівень еколого-технологічної досконалості. Перш за все, транспорт споживає великі обсяги природних ресурсів, зокрема невідновлюваних і дефіцитних енергоносіїв, таких як нафта і газ. По-друге, він спричиняє значне забруднення навколишнього середовища. Комплексний підхід до вирішення цих проблем можливий через розробку, впровадження та оптимальну експлуатацію гібридних транспортних засобів. Ця тема має глобальне значення, адже вона актуальна не лише для України, але й для всього світу.

Однією із ключових проблем сучасного автобудування є постійне зростання цін на паливо на основі вуглеводнів. Скорочення запасів нафти неминуче призводить до зростання вартості автомобільного пального, що обумовлює необхідність пошуку альтернативних джерел енергії та силових установок для транспортних засобів.

Інша важлива проблема пов'язана із забрудненням довкілля токсичними викидами від автомобілів. На сьогодні ця проблема набуває дедалі більшої гостроти. У процесі роботи автомобілі з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) викидають до 200 шкідливих речовин в атмосферу, що сприяє забрудненню повітря та погіршенню стану земної кори й водних ресурсів. Транспортні засоби з традиційними бензиновими та дизельними ДВЗ досягли межі свого розвитку, що потребує впровадження принципово нових джерел енергії для автомобілів.

Основна мета дослідження полягає у підвищенні ефективності використання гібридних транспортних засобів шляхом оптимізації роботи ДВЗ та інших типів двигунів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку важливих **завдань:**

1) визначити перспективні напрямки застосування альтернативних силових установок і джерел енергії, сформулювати напрямок дослідження, а також аналізувати проблеми і недоліки існуючих гібридних силових систем;

2) запропонувати класифікацію гібридних силових установок, яка базується на економічному, енергетичному й екологічному підходах;

3) розробити рішення для підвищення ефективності роботи транспортних засобів за рахунок створення гібридних установок, що відповідають економічному принципу;

4) визначити можливості подальшого розвитку транспортних засобів, провести аналіз та розрахунок альтернативних технологій збереження енергії і екологічної безпеки.

Об'єктом дослідження є процес оптимізації експлуатації транспортних засобів.

Предметом виступають транспортні засоби, силові установки яких побудовані на основі економічного принципу.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Наукова ретроспектива автомобілів

Формування сучасної концепції створення високоефективних транспортних засобів передбачає комплексне осмислення наукових засад впровадження енергозберігаючих технологій у дорожньому транспорті, а також визначення перспективних напрямів розвитку автомобілебудування. У цьому контексті важливим є проведення наукової ретроспективи, яка дозволяє дослідити еволюцію технічних рішень у розробці автомобілів. Ця еволюція супроводжувалася численними суттєвими змінами конструктивних підходів та робочих принципів функціонування транспортних засобів. Основні стадії розвитку автомобільної інженерії можна представити за допомогою спіральної моделі змін фундаментальних принципів побудови транспортних засобів.

Перший етап розвитку автомобілебудування розпочався у 1769 році, коли французький інженер Ніколя-Жозеф Кюньо спроектував і створив так званий "паровий візок", відомий також під назвою «*fardier à vapeur de Cugnot*» та у творчості винахідника згадуваний як "Вогняний віз". Цей механізм був розроблений для перевезення важких військових вантажів, таких як гармати, і став раннім прикладом використання парової установки для механічного транспорту. З огляду на свої особливості, винахід Кюньо вважається не лише предтечею автомобілів, але й паровозів, адже його рух забезпечувався енергією пари. Технічна конструкція передбачала привід на єдине переднє колесо.

Робочий принцип першого етапу розвитку автомобілебудування характеризувався використанням енергії пари у силовій установці. До 1900 року приблизно половина автомобілів у Сполучених Штатах працювала на основі парової тяги. Паросилові автомобілі ефективно конкурували як з електромобілями, так і з транспортними засобами, оснащеними двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), які почали з'являтися на початку XX століття. Однак домінування автомобілів із ДВЗ швидко витіснило паросилові машини з

ринку через низку технологічних недоліків. Серед ключових причин їхнього занепаду можна виділити: низький співвідношення енергії до маси парових установок, обмежений діапазон робочих швидкостей, значний час для прогріву двигуна, складність управління, а також високий рівень пожежної та вибухонебезпечності.

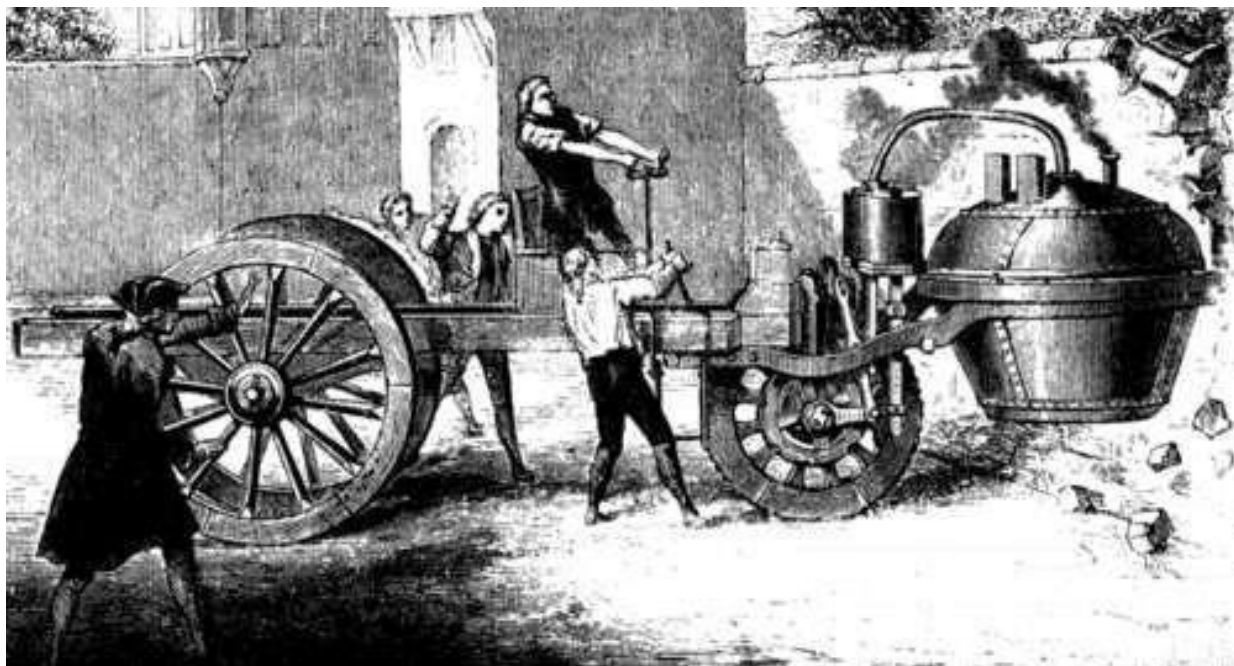


Рис. 1.1 – Експериментальний паровий артилерійський тягач Кюньо

Деякі розробники екологічного транспорту все ще покладають великі сподівання на впровадження паросилових установок у виробництво автомобілів. Парові двигуни, за своєю суттю, мають потенціал бути більш ефективними та екологічно безпечними порівняно з традиційними двигунами внутрішнього згоряння. Це підтверджується тим фактом, що більшість стаціонарних енергетичних систем, які займаються генерацією електроенергії, базуються саме на принципі роботи паросилових установок.

Другий етап еволюції дорожніх транспортних засобів пов'язаний із Робертом Девідсоном з Англії, який у 1838 році створив перший електричний екіпаж на самохідній тязі. Електропривод цього транспортного засобу забезпечувався енергією, що надходила від батарей електрохімічних акумуляторів. Це досягнення стало можливим лише через шість років після

того, як Майкл Фарадей відкрив явище електромагнітної індукції.

На ранніх стадіях свого розвитку електромобілі рухалися зі швидкістю, порівнянною з ходом пішохода, проте конструкції постійно вдосконалювались, і поступово показники швидкості зростали. Уже в 1895 році електромобіль встановив рекорд швидкості — 17,5 м/с (63 км/год). А в 1899 році було досягнуто нового прориву: швидкість перевищила позначку 27,78 м/с (100 км/год). Рекорд належав бельгійському інженеру Камілю Женатці, який у французькому місті Ашер поблизу Парижа керував електромобілем “La Jamais Contente”. Ця машина подолала відмітку в 29,17 м/с (105 км/год). Електромобіль мав корпус із сплаву алюмінію та вольфраму й за формою нагадував торпеду, розташовану на спеціально сконструйованому шасі.



Рис. 1.2 – Електромобіль “La Jamais Contente”

На межі XIX і XX століть виробництво електромобілів набуло серійного характеру, що знаменувало важливий етап у розвитку автомобільної промисловості. Одним із піонерів цього напрямку став американський інженер

Ендрю Лоуренс Райкер, який заснував компанію, зосереджену на виробництві транспортних засобів з електричним приводом. Займаючи пост першого голови Асоціації автомобільних інженерів (SAE), він реалізував розробку кількох моделей міських легкових автомобілів та вантажних транспортних засобів на електротязі. Крім того, Райкер сконструював електричну модель карети швидкої допомоги, що слугувала прикладом потенціалу електрифікації у сфері спеціалізованого транспорту.

Значний внесок у розвиток електромобільної технології зробила також компанія Detroit Electric, яка розпочала свою діяльність у 1907 році. Спершу її електромобілі оснащувалися свинцево-кислотними акумуляторами, однак з 1911 по 1916 рік споживачам пропонувалася можливість встановлення вдосконаленого залізо-нікелевого акумулятора, розробленого Томасом Едісоном, за додаткову плату в 600 доларів США. Дані електромобілі демонстрували вражаючі показники автономності — на одному заряді могли долати відстані до 130 км, а під час випробувань в Детройті було зафіксовано рекордний пробіг у 340,1 км. Водночас максимальна швидкість таких транспортних засобів становила 8,89 м/с (32 км/год), що відповідало тодішнім технічним стандартам розвитку автомобільної техніки.



Рис. 1.3 – Електромобіль компанії Detroit Electric

У перше десятиліття XX століття компанія Detroit Electric досягла піку продажів, реалізуючи щороку по 1000–2000 електромобілів. Попит на такий транспорт зростав через високу вартість бензину під час Першої світової війни. Проте вже у 1920-х роках популярність електромобілів суттєво знизилася — причиною стало здешевлення автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). Компанія продовжувала виробляти електромобілі аж до Великої депресії, що розпочалася у 1929 році.

На початку XX століття міські вулиці, особливо у великих містах, наприклад у Нью-Йорку, були сповнені як автомобілями з ДВЗ, так і електромобілями. У 1910-х роках лише в Нью-Йорку працювало близько 70 000 електротаксі. Однак із часом кількість електромобілів поступово спадала, поки в 1920-х роках вони не становили всього 1% від загальної кількості автомобілів. Минуло ціле століття, і увага науковців та виробників знову зосередилася на електромобілях: наприклад, у 2009 році компанія Detroit Electric уклала стратегічну угоду з китайським виробником Dongfeng Motor Corporation для спільної розробки нових моделей електромобілів.

Принцип роботи електромобіля полягає у використанні електричної енергії для роботи тягових електродвигунів. Це визначення охоплює всі транспортні засоби, що використовують електропривод: електромобілі, гібридні автомобілі, транспорт із водневими паливними елементами тощо. Однак другий етап розвитку автомобільної техніки варто пов'язувати виключно з використанням акумуляторних батарей для живлення електродвигунів, адже ані водневих елементів, ані потужних сонячних батарей чи емних конденсаторів на той час не існувало.

Третій етап еволюції автомобільного транспорту був безпосередньо пов'язаний із широким впровадженням двигунів внутрішнього згоряння. На початку XX століття їхнє серійне виробництво активно розширювалося. Конвеєрна лінія, започаткована Генрі Фордом у 1913 році, зробила автомобілі з ДВЗ доступнішими завдяки значному зниженню їхньої собівартості.

До технологічного прориву в цьому напрямку сприяли винаходи Роберта

Боша, чия компанія з 1913 року стала основним постачальником стартерів, генераторів та іншого електрообладнання для світових автоконцернів. Використання двигунів внутрішнього згоряння стало головним принципом традиційного автомобілебудування — цей етап розвитку тривав понад століття та цілком імовірно, що продовжуватиметься ще кілька десятиліть.



Рис. 1.4 – Автомобіль Ford-N

Щоб визначити основні тенденції у сфері створення транспортних засобів та сформулювати перспективні напрями розвитку автомобілебудування, необхідно проаналізувати сучасні процеси, пов'язані з автомобілем. Уряди розвинених країн дедалі більше переймаються станом навколишнього середовища, тому питання впровадження альтернативних джерел енергії набуває національного значення. З огляду на це спостерігається виникнення нової ери в розвитку автомобільної техніки — четвертого етапу

еволюції автомобіля. Його фундаментальний принцип полягає у використанні екологічно чистих технологій та альтернативних джерел енергії для забезпечення функціонування силових установок транспортного засобу. При цьому конструкція останніх зазнає суттєвих змін, оскільки в межах традиційного підходу реалізувати новий принцип фактично неможливо. Четвертий етап передбачає інтеграцію усіх доступних екологічно безпечних технологій у процес створення сучасних енергоефективних та екологічно чистих автомобілів.

Зазначимо, що будь-яка система у процесі еволюції, включно з технічною, проходить чотири стадії розвитку, після чого трансформується в принципово нову систему з більш удосконаленими функціональними можливостями. Наразі ми перебуваємо на перехідному етапі розвитку транспортних засобів, що лежить між третім і четвертим фазами. Процес трансформації розпочався в 1995 році зі створення перших сучасних гібридних автомобілів. Як носії перехідної концепції, гібридні транспортні засоби поєднують два принципи: традиційний і сучасний. Цей етап характеризується значною модернізацією науково-технічних рішень у створенні автомобільних силових установок. Револьюційному прориву в автобудуванні сприяло впровадження інноваційних енергозберігальних технологій, що підтримують вдосконалення тягових акумуляторних батарей, електричних машин та електронних систем керування.

Особливу увагу інженери приділяють транспортним засобам із електричною тягою. Їх підтримка обумовлена двома ключовими перевагами: високою екологічною ефективністю через відсутність шкідливих викидів і надзвичайно високим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Зокрема, ККД сучасних електричних двигунів сягає 96 %, тоді як бензиновий двигун працює з максимальною ефективністю лише до 30 %, дизельний — до 40 %, а криогенні установки — виключно в діапазоні 30–35 %. При цьому паливні елементи з конвектором демонструють ККД близько 50 %, а водневі паливні елементи — до 70 %.

Незважаючи на очевидні переваги електромобілів, їх основним недоліком залишається недостатня ємність тягових акумуляторних батарей, що негативно впливає на запас ходу. Основна проблема короткого пробігу пояснюється низькою густиною енергії сучасних акумуляторних технологій. Навіть передові електрохімічні методи збереження енергії не здатні конкурувати з високою густиною енергії традиційного пального, такого як бензин, дизель або зріджений газ. Наприклад, паливний бак автомобіля об'ємом 50 літрів може акумулювати 2.35 ГДж енергії, що відповідає густині 47 ГДж/м³ (13 МВт·год/м³).



Рис. 1.5 – Напрями, що сприяють підвищенню ефективності експлуатації ДТЗ

1.2 Розвиток гібридної технології

Термін "гібридна технологія", що походить від латинського слова hybrida (поєднання) та давньогрецьких коренів τέχνη (мистецтво, майстерність) і λόγος (думка, спосіб виробництва), у контексті автомобільної промисловості означає інтеграцію двигунів різного типу, як-от бензинового та

електричного, для приводу автомобіля. Взаємодія цих двох джерел механічної енергії базується на принципі синергії. Електричний двигун забезпечує високий обертовий момент і достатню потужність навіть на низьких обертах, при цьому не використовуючи паливо та не створюючи забруднення для навколишнього середовища. Бензиновий двигун виступає джерелом високої швидкості. У комбінованій системі кожне джерело працює в оптимальному режимі, що забезпечує автомобілю високу динаміку та економію палива.

Згідно з правилами ЄЕК ООН № 83-05:2005, IDT "Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів", поняття гібридного транспортного засобу має наступні визначення:

1. Під гібридним транспортним засобом (ГТЗ) розуміють транспортний засіб, оснащений щонайменше двома різними перетворювачами енергії та двома різними бортовими системами акумулювання енергії для приводу до руху.

2. Гібридний електромобіль (ГЕМ) — транспортний засіб, який для механічного приводу використовує енергію з двох бортових джерел: споживаного палива та пристрою для акумулювання електроенергії, наприклад акумуляторної батареї, конденсатора чи маховика/генератора.

Термін «екологічно чистий» широко застосовується до транспортних засобів, здатних рухатися із нульовим рівнем токсичності, проте загального визначення йому наразі немає. Пропоноване трактування екологічно чистого транспортного засобу включає:

Транспортний засіб, що використовує хоча б один екологічно чистий двигун (як-от електродвигун, пневмодвигун чи маховик), живлення якого забезпечується від екологічно чистого джерела енергії — акумуляторних батарей, суперконденсаторів, інерційних накопичувачів енергії чи водневих паливних елементів.

Для визначення екологічної ефективності транспортних засобів

пропонується застосування трьох показників або коефіцієнтів.

Перший показник характеризує ступінь використання екологічно чистого двигуна в швидкісному інтервалі руху, як відношення максимальної швидкості у режимі «тільки електрика» V_{el} до максимальної швидкості автомобіля V_{max}

$$k_V = \frac{V_{el}}{V_{max}}. \quad (1.1)$$

Для електромобілів та гібридних транспортних засобів коефіцієнт використання екологічно чистого двигуна в діапазоні швидкостей руху рівний 1. Однак для різних гібридних автомобілів цей показник може варіюватися від 0 до 1. Наприклад, для гібридного автомобіля Honda CR-Z значення коефіцієнта k_V дорівнює 0, для Toyota Prius-1 — 0,25, для Toyota Prius-3 — 0,39, а для Toyota Prius k_V — 0,5.

Другий показник визначає ступінь використання екологічно чистого джерела енергії автомобіля. Його розраховують як відношення максимальної відстані, яку транспортний засіб може проїхати в режимі «тільки електрика» (Sel), до загального пробігу на одній заправці.

$$k_S = \frac{S_{el}}{S_{max}}. \quad (1.2)$$

Для електромобілів коефіцієнт ступеня використання екологічно чистого бортового джерела енергії приймається рівним одиниці, тоді як для гібридних електромобілів і гібридних транспортних засобів його значення варіює у межах від нуля до одиниці. У рамках розгляду припустимо, що максимальна дистанція, яку транспортний засіб може подолати на одному циклі заправки або зарядки, складає 800 км. Виходячи з цього, для моделі Honda CR-Z значення відповідного коефіцієнта ступеня прямого використання екологічно чистих джерел енергії визначається за заданими умовами. $k_S = 0$, для Toyota Prius-1 — $k_S = 0,0025$, для Toyota Prius PHV він вже на порядок вище — $k_S = 0,025$, для гібридного електромобіля Chevrolet Volt він досягає $k_S = 0,075$.

Третій показник характеризує ступінь використання енергії з зовнішніх екологічно чистих джерел енергії та енергії, що отримана за рахунок рекуперації, як відношення енергії, яку джерело енергії може отримати під час руху E_{ext} , до енергії, яка потрібна для здійснення руху E_{el}

$$k_E = \frac{E_{ext}}{E_{el}}. \quad (1.3)$$

Для більшості сучасних електромобілів, гібридних електромобілів та гібридних транспортних засобів цей показник не перевищує $k_E = 0,05$, що отриманий за рахунок рекуперативного гальмування. Лише електромобіль на сонячних батареях (геліомобіль), який використовує енергію сонячного випромінювання для зарядки тягових акумуляторних батарей, може мати коефіцієнт ступеню використання енергії з зовнішніх екологічно чистих джерел та енергії отриманої за рахунок рекуперації, що перевищує 1.

Коефіцієнти екологічності транспортних засобів можна визначати у %

$$k_V = \frac{V_{el}}{V_{max}} \cdot 100\%; \quad (1.4)$$

$$k_S = \frac{S_{el}}{S_{max}} \cdot 100\%; \quad (1.5)$$

$$k_E = \frac{E_{ext}}{E_{el}} \cdot 100\%. \quad (1.6)$$

1.3 Напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів

Вплив автомобільного транспорту на стан довкілля є багатограним та охоплює як енергетичні, так і матеріальні форми забруднення. До енергетичних видів забруднення належать шум, вібрація та електромагнітні випромінювання, тоді як матеріальні представлені газоподібними, рідкими і твердими речовинами. Автомобільний транспорт спричиняє викиди понад 200 токсичних хімічних сполук. Концентрація цих токсичних речовин значною мірою

визначається технічним станом транспортного засобу, його швидкістю руху, а також тривалістю експлуатації. Згідно з результатами досліджень, найменша кількість оксидів вуглецю спостерігається за швидкості руху близько 16,67 м/с (60 км/год). При цьому відхилення від цієї оптимальної швидкості у бік її збільшення або зменшення призводить до зростання обсягів шкідливих викидів у 2–4 рази.

Режим роботи автомобільних двигунів у міських умовах характеризується змінними навантаженнями, що включають чергування таких режимів, як холостий хід, розгін, помірний рух та гальмування. Найвищі концентрації оксиду вуглецю (CO) у відпрацьованих газах фіксуються на режимі холостого ходу або при високих навантаженнях. Зокрема, під час роботи двигуна на холостому ході вміст CO у вихлопних газах може бути у два рази більшим порівняно з рівнем цього показника у сталому режимі. У свою чергу, під час прискорення транспортного засобу відзначається підвищена концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Кількісний та якісний склад токсичних речовин у вихлопних газах бензинових і дизельних двигунів залежить від експлуатаційного режиму роботи двигуна внутрішнього згоряння, його технічного стану та умов використання. У бензинових двигунах склад відпрацьованих газів зазнає змін залежно від коефіцієнта надлишку повітря α , що визначає ефективність процесу згоряння палива.

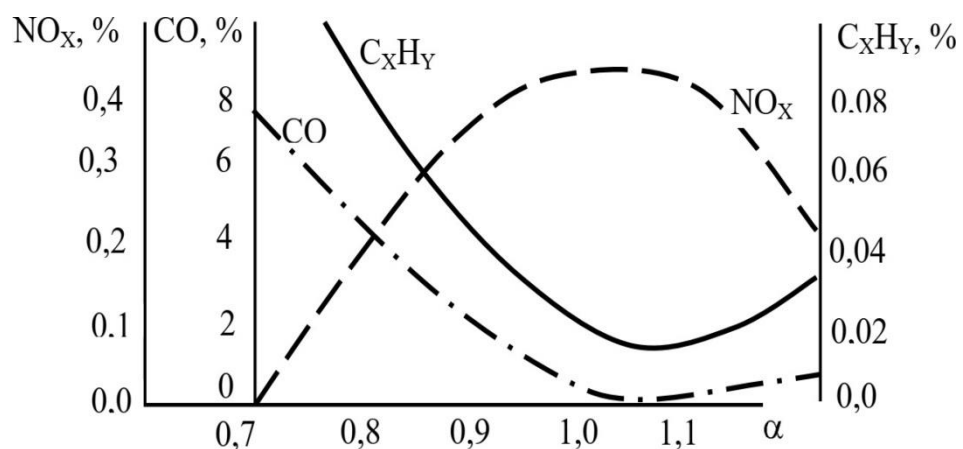


Рис. 1.6 – Характеристика токсичності бензинового двигуна автомобілів

З концентрацією токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобілів спостерігається прогресивне зростання у міру збільшення тривалості їхньої експлуатації. В Україні майже чверть вантажного автопарку перебуває в експлуатації понад десятирічний термін. Встановлено, що близько 20% викидів автотранспортних засобів осідає безпосередньо поблизу автомобільних шляхів. Тривале випасання сільськогосподарських тварин уздовж таких ділянок може спричинити накопичення сполук свинцю в тканинах тварин, що становить потенційну загрозу для здоров'я [7]. За умов згоряння 1 кг бензину утворюється понад 500 м³ забруднюючих речовин, тоді як при згорянні 1 кг дизельного палива виділяється близько 50 м³ шкідливих компонентів. Особливу небезпеку становлять поліциклічні ароматичні вуглеводні, відомі своїми канцерогенними властивостями. Варто також зазначити, що склад відпрацьованих газів дизельних двигунів істотно відрізняється від тих, які утворюються під час роботи бензинових двигунів, що підтверджується відповідними даними (табл. 1.1) [8].

Таблиця 1.1 Порівняльний вміст основних токсичних речовин у відпрацьованих газах бензинових та дизельних двигунів

Токсичні речовини	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни
Окис вуглецю CO, %	0,1...5,0	0,01...0,5
Вуглекислий газ CO ₂ , %	0,0...12,0	1,0...10,0
Вуглеводні C _x H _y , %	0,2...3,0	0,0...0,01
Оксиди азоту NO _x , %	0,0...0,8	0,00002...0,5
Альдегіди, %	0,0...0,2	0,0...0,009
Сажа, г/м ³	0,0...0,04	0,001... 1,1
Бензапирен C ₂₀ H ₁₂ , мкг/м ³	10...20	10
Двоокис сірки SO ₂ , %	0,0...0,008	0,0...0,03

Зростання кількості автомобілів призводить до збільшення споживання нафтопродуктів, що спричиняє виснаження невідновлюваних запасів вуглеводневої сировини. За інформацією Американського інституту нафти

(American Petroleum Institute), 43% усіх вироблених у світі нафтопродуктів використовується як паливо для автомобілів, які є основним джерелом забруднення атмосфери. У Сполучених Штатах, де зареєстровано понад 230 мільйонів транспортних засобів, найбільший парк автомобілів у світі. У 1990-х роках у Каліфорнії розпочалася масштабна екологічна кампанія під гаслом «За чистоту довкілля», яка в кількох штатах привела до ухвалення закону ZEV (Zero Emission Vehicle). Цей закон зобов'язує автовиробників дотримуватися квот щодо продажу автомобілів: не менш ніж 5% від загального обсягу реалізації мають становити машини з нульовими викидами, тобто ті, що не виділяють відпрацьованих газів у повітря.

Крім того, у США прийнято законодавчі норми, спрямовані на зменшення середнього рівня споживання палива легковими автомобілями. З 2025 року ця межа буде встановлена на рівні 3,22 кг/100 км (4,32 л/100 км). Для порівняння, сьогоднішні нормативи обмежуються 6,56 кг/100 км (8,8 л/100 км) для легкових авто та 7,3 кг/100 км (9,8 л/100 км) для пікапів і позашляховиків. Очікується, що ці заходи позитивно вплинуть на екологічну ситуацію в країні. Крім законодавчих ініціатив, держава активно підтримує поширення екологічних транспортних засобів за допомогою державних і федеральних субсидій. Наприклад, при покупці електромобіля або гібридного автомобіля споживач може отримати компенсацію до \$7500.

Європейський Союз також докладає зусиль для зниження частки автомобілів із бензиновими двигунами. До 2030 року заплановано скоротити їх кількість на 50%, а до 2050 року — повністю заборонити в'їзд транспортних засобів на традиційному паливі до європейських міст. Разом зі зменшенням викидів CO₂ Європейська Комісія планує суттєво підвищити рівень безпеки транспортних засобів і домогтися повної ліквідації смертності в дорожньо-транспортних пригодах.

Уряд Німеччини ввів у дію програму, спрямовану на розвиток виробництва та використання електромобілів. Основна мета полягає у збільшенні кількості транспортних засобів із електроприводом до 1 мільйона

одиниць до 2020 року, а до 2030 року даний показник має зрости до 6 мільйонів. Програма також включає низку стимулів для заохочення попиту на електромобілі. Зокрема, передбачено звільнення власників таких автомобілів від транспортного податку на 10 років. Крім цього, в країні будуть створені окремі паркомісця та смуги руху для подібного виду транспорту.

Міністерство промисловості та інформаційних технологій Китаю презентувало план, згідно з яким до 2020 року країна має стати світовим лідером у виробництві гібридних автомобілів та електромобілів. Передбачається, що через шість років на дорогах Китаю курсуватиме до 5 мільйонів екологічних автівок. Держава візьме на себе значну частину фінансування цього масштабного проекту. Аналіз заходів підтримки електротранспорту вказує на пріоритети: збільшення обсягів субсидій та створення розвиненої інфраструктури зарядних станцій для електромобілів і гібридів. Уряд також працює над програмами стимулювання приватних покупців через надання субсидій на придбання таких автомобілів. Наприклад, гібридний автомобіль F3DM компанії BYD коштує 169,8 тисяч юанів (27 тисяч доларів), але після субсидування його ціна знижується до 89,8 тисяч юанів (14 278 доларів).

Уряди США та країн Європейського Союзу, намагаючись спонукати автовиробників до зменшення забруднень атмосферного повітря, встановили жорсткі стандарти допустимого рівня викидів, які постійно посилюються. Водночас європейські норми наразі не охоплюють викиди парникового газу CO₂, зосереджуючись лише на чадному газі (CO), який шкідливий для здоров'я.

На сучасному етапі розвитку автомобільного сектору виникає конфлікт між суворими нормами екологічності та поточним станом автомобілів. Перш за все, це пов'язано з невирішеними проблемами, серед яких:

- 1) Масове використання двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), що застосовуються у 99% автомобілів. Хоча їхня ефективність досягла піку своєї еволюції, вони все ще споживають нафту чи газ, що передбачає значні

шкідливі викиди.

2) Швидке збільшення автопарку. Якщо екологічно чисті технології не будуть широко впроваджені, рівень забруднення навколишнього середовища продовжить зростати високими темпами.

Розв'язання проблеми підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів відбувається за багатьма напрямками одночасно.



Рис. 1.7 – Напрями підвищення паливної економічності автомобілів

Сучасні технології і методики технічного діагностування машин забезпечують можливість оцінювати технічний стан значної частини систем і механізмів без необхідності повного розбирання або лише з частковим його проведенням. Окрім того, такі підходи дають змогу прогнозувати залишковий ресурс окремих вузлів та агрегатів. Це дозволяє здійснювати ефективний контроль технічного стану обладнання, мінімізуючи час його простою, що, у свою чергу, сприяє істотному зниженню експлуатаційних витрат. Забезпечення своєчасного діагностування дозволяє оптимізувати споживання запасних частин і паливно-мастильних матеріалів завдяки виконанню лише тих ремонтних робіт і регулювань, які є дійсно необхідними. Вчасне виявлення та усунення значущих несправностей у системах живлення, запалювання, агрегатах ходової частини і трансмісії забезпечує покращення паливно-економічних показників на 5-10%, підвищує продуктивність двигуна і сприяє вдосконаленню екологічних характеристик експлуатації техніки у 2-3 рази.

1.4 Висновки до першого розділу

Ефективність функціонування дорожніх транспортних засобів значною мірою залежить від показників їх економічності та екологічності. Одним із шляхів вирішення цих важливих проблем є впровадження гібридних транспортних технологій. На території України виробництво таких транспортних засобів на серійній основі поки не налагоджене, що обумовлює актуальність і практичну значущість даного дослідження.

2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Обґрунтування напрямку дослідження

Головними напрямками підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів залишаються економія енергоресурсів (палива, електроенергії тощо) та покращення екологічної безпеки. У цьому контексті створення енергозберігаючих і екологічно чистих технологій у галузі транспорту спрямоване на зменшення обсягів викидів токсичних речовин, а також на підвищення економічності роботи силових установок. Такий розвиток здійснюється через різноманітні підходи: вдосконалення систем упорскування й згоряння палива в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ), використання каталізаторів та нейтралізаторів, впровадження новітніх енергозберігаючих технологій на транспорті, а також застосування альтернативних екологічно чистих джерел і накопичувачів енергії разом із сучасними силовими установками.

Попри те, що удосконалення ДВЗ триває впродовж останніх 150 років, коефіцієнт корисної дії (ККД) цих двигунів у сучасних транспортних засобах залишається порівняно низьким. До того ж у міських умовах, особливо в години пік, експлуатація транспорту з ДВЗ є малоефективною, оскільки значна частина виробленої енергії перетворюється на тепло.

Аналіз сучасного стану розвитку енергозберігаючих транспортних технологій свідчить про те, що провідні виробники транспортних засобів розробили низку альтернативних джерел і накопичувачів енергії. Серед них: паливні елементи на водні, що генерують електроенергію за рахунок хімічної реакції водню й кисню; інерційні накопичувачі енергії (маховичні та мехатронні), у яких енергія запасється у вигляді механічної обертальної енергії диска або циліндра; іоністори (суперконденсатори) та електрохімічні акумулятори. Спільною ознакою більшості альтернативних джерел енергії (за винятком водневих паливних елементів) є їхня низька питома енергоемність,

що становить головний недолік для їх масового впровадження.

Таблиця 2.1

Питома енергоємність джерел енергії

Джерело енергії	ККД, %	Питома енергоємність, кВт·год/кг	Питома енергоємність з урахуванням ККД, кВт·год/кг
Водень	50...60	38	20...23
Бензин	25...30	13...14	3,25...4,2
Свинцева-кислотна ТАБ	50...60	0,025...0,04	0,0125...0,024
Нікель-метал-гідридні ТАБ	70...80	0,06...0,08	0,042...0,064
Літій-іона ТАБ	80...90	0,09...0,15	0,072...0,1425
Натрій-метал-хлоридні ТАБ	80...90	0,08...0,12	0,064...0,108
Маховики різного типу	80...95	0,05...4,17	0,04...3,9615
Електричні іоністори	90...95	0,003...0,006	0,003...0,006

Енергоємність вуглеводневого палива залишається вражаючою, навіть з урахуванням значно нижчого коефіцієнта корисної дії двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), перевершуючи енергоємність сучасних акумуляторів майже у 40 разів. Водночас паливні елементи на водні демонструють питомий показник енергоємності на рівні 38 кВт·год/кг, і завдяки високому ККД водневих установок енергетична густина таких систем перевищує показники ДВЗ у 5-7 разів. Однак, високі витрати на створення водневих установок та недолік заправної інфраструктури стримують розвиток цього напрямку в автомобілебудуванні.

Подальше вдосконалення концепції ефективних транспортних засобів може бути пов'язане з розробкою автомобілів нового покоління. Вони можуть оснащуватися ДВЗ малої потужності, орієнтованими на підвищену економічність, у тандемі з більш продуктивними енергетичними накопичувачами. До таких рішень належать енергоємні та потужні акумуляторні батареї, доступніші водневі паливні елементи, а також модернізовані маховикові чи конденсаторні пристрої для зберігання енергії.

2.2 Напрями підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів

2.2.1 Удосконалення ДВЗ

Минуло вже 130 років з моменту впровадження двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) у автомобілях. За цей час було зроблено чимало спроб підвищити його ефективність. Масове поширення ДВЗ пояснюється низкою переваг перед іншими типами силових установок:

1) висока енергетична щільність палива, яка, навіть за відносно низького коефіцієнта корисної дії (ККД), дозволяє транспортним засобам долати до 800 км на одній заправці;

2) здатність відповідати сучасним екологічним стандартам, хоча майбутні вимоги щодо екологічності автомобілі з ДВЗ можуть не задовольнити;

3) добре налагоджені технології виробництва, що забезпечують ДВЗ низьку питому вартість (витрати/кВт);

4) поліпшення робочих процесів, яке дозволило досягти високої об'ємної та масової енергоємності (кВт/м³, кВт/кг).

Результати багаторічних досліджень учених і інженерів виявили, що навіть у нинішніх конструкціях ДВЗ є значний потенціал для подальшого вдосконалення. Помітне покращення ККД бензинових двигунів і підвищення економічності було досягнуто завдяки застосуванню таких рішень, як впорскування палива у впускний трубопровід або безпосередньо в циліндр, використання турбонаддуву, регулювання робочого об'єму через відключення циліндрів та зміни ступеня стиснення. Теоретичні й експериментальні дослідження демонструють, що оптимізація ступеня стиснення і робочого об'єму може забезпечити покращення паливної ефективності та скорочення викидів парникових газів (CO₂) в умовах міського руху на 20–40%.

У серійному виробництві транспортних засобів вже активно використовуються системи з регульованими фазами газорозподілу. Багато автовиробників, таких як Honda, Toyota, BMW та інші, оснащують свої двигуни

високоєфективними механізмами для їхнього налаштування.

2.2.2 Застосування альтернативного палива

Перспективи розвитку альтернативного палива виглядають досить обнадійливо: вже сьогодні провідні світові автовиробники пропонують майже сотню різних моделей автомобілів, що використовують альтернативні види палива. У Європі, зокрема, особливу активність у цій сфері демонструють такі компанії, як Mercedes-Benz, BMW та MAN. За прогнозами, до 2050 року, відповідно до резолюції ООН, яка закликає європейські країни перейти на новітні екологічні джерела енергії для транспорту, частка таких автомобілів має зрости до 23% від загального автопарку. З цієї кількості близько 10% (тобто приблизно 30,5 мільйона одиниць) будуть працювати на природному газі.

2.2.2.1 Використання біопалива

Використання біопалива, зокрема етанолу (етилового спирту) або біодизелю, отриманого з рослин, спеціально вирощених для цих цілей, розглядається як важливий напрямок у зменшенні концентрацій вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері. Хоча процес спалювання біопалива супроводжується викидом CO_2 подібно до спалювання викопного палива (нафти, вугілля, природного газу), принципова різниця полягає у джерелі його походження. Формування рослинної біомаси здійснюється завдяки фотосинтезу, що включає поглинання вуглекислого газу, тим самим частково компенсуючи обсяги його викидів.

На території України вже кілька років певні підприємства випускають альтернативне моторне паливо марки E95-40, що є складною сумішшю: 30-40 % зневодненого етилового спирту, 70-60 % легких фракцій бензинів, ефірів, вуглеводнів, стабілізаторів і спеціальних присадок. Ці компоненти спрямовані на пригнічення корозійних процесів та забезпечення цілісності гумових елементів двигуна і паливної системи автомобіля. Водночас для використання біоетанолу в звичайних бензинових двигунах без їхнього спеціального переобладнання передбачено, що його концентрація у паливній суміші не

повинна перевищувати 10 %. Варто також зазначити, що під час згоряння етанолу у відпрацьованих газах двигуна утворюються альдегіди (зокрема формальдегід і ацетальдегід), які становлять значну небезпеку для живих організмів і можуть завдавати шкоди на рівні, співставному з впливом ароматичних вуглеводнів.

2.2.2.2 Використання газу

Перехід на газифікацію автотранспорту виглядає досить перспективним рішенням для підвищення ефективності використання транспортних засобів. Однак використання газового палива не стає панацеєю для вирішення екологічних та економічних проблем, навіть попри те, що газ є суттєво дешевшим за традиційні нафтові види палива. Проведено аналіз екологічної та економічної доцільності впровадження газового палива, при цьому витрати на переобладнання транспортних засобів не враховувалися. У розрахунках враховано лише середню вартість енергоносіїв в Україні станом на 24 листопада 2015 року (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Екологічна та економічна вигода від конвертації автомобільного транспорту на газове моторне паливо

Параметри	Бензин А95	Дизельне паливо	Метан	Пропан - бутан
Об'єм двигуна, л	2,0	2,0	2,0	2,0
Середні викид шкідливих речовин, г/км	2,4	2,7	1,3	1,8
Витрата палива на 100 км пробігу (10 л – 100 %), %	100	90	110	115
Ціна палива, грн/л, грн/м ³ (для метану)	20,21	16,92	13,30	10,30
Підсумкова ціна палива, грн/100 км	202,10	152,28	146,3	118,45
Економічна вигода по відношенню до бензину на 100 км пробігу, грн		49,82	55,8	83,65
Економічна вигода по відношенню до бензину, %		24,6	27,6	39,7

2.2.2.3 Використання водню

Водневі паливні елементи мають потенціал для виробництва електроенергії для живлення електричного двигуна у транспортних засобах, повністю замінюючи традиційні двигуни внутрішнього згоряння. Однак вони не здатні акумулювати електроенергію, на відміну від акумуляторів, суперконденсаторів чи маховиків, що робить їх непридатними для рекуперації енергії. Перший транспортний засіб із паливними елементами був створений у 1957 році компанією Allis-Chalmers Manufacturing Company. Первинні дослідження застосування водневих паливних елементів провели на тракторі та машині для гольфу. Нині низка провідних автомобільних корпорацій серійно випускають автомобілі на водні, серед них Honda (Honda FCX Clarity), Toyota (Toyota Mirai) та Hyundai (Hyundai Tucson Fuel Cell).

Попри кілька технологій виробництва водню, нині близько 50% його світового обсягу отримують із природного газу, оскільки альтернативи залишаються економічно не вигідними. Зі зростанням цін на енергоресурси вартість водню також підвищується, адже він є вторинним енергоносієм. Хоча водень вважається вибухонебезпечним, за інформацією Національної асоціації водню (США), ризик його вибуху не перевищує аналогічної ймовірності для бензину.

Головною перевагою водневих паливних елементів є високий коефіцієнт корисної дії, що може досягати 83%. Однак виробництво водневого палива є у чотири рази дорожчим за виготовлення автомобільного бензину для тієї ж кількості енергії. Ще одним суттєвим викликом лишається необхідність створення водневої інфраструктури: мережі заправних станцій і сервісних центрів, потрібних для обслуговування таких транспортних засобів. За розрахунками Аргоннської національної лабораторії, у США розвиток такої інфраструктури потребуватиме витрат понад 600 мільярдів доларів. У зв'язку з цим майбутнє водневої технології в найближчій перспективі здається сумнівним, особливо на тлі стрімкого розвитку ринку гібридних авто та електромобілів.

Отже, використання водню в транспортній сфері залишається перспективною ідеєю завдяки високій ефективності паливних елементів, однак висока вартість їхнього виготовлення і нерозвинена інфраструктура заправок перешкоджають її широкому впровадженню у найближчому майбутньому.

2.3 Інерційні накопичувачі енергії

2.3.1 Теоретичне обґрунтування

Інерційні накопичувачі енергії, також відомі як маховичні або мехатронні системи, можуть слугувати альтернативним джерелом енергії для силових установок транспортних засобів. У таких системах накопичення енергії відбувається у формі механічної енергії, зосередженої у швидкообертovому диску чи циліндрі.

Кінетична енергія обертання, накопичена в обертovому тілі (маховику), Дж

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2, \quad (2.1)$$

де J – момент інерції маси щодо осі обертання маховика, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

ω – кутова швидкість, рад/с .

Для простих форм маховика, відомі кінцеві вирази моменту інерції:

- для полого циліндра

$$J = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2), \quad (2.2)$$

де m – маса порожнього циліндра, кг ;

R, r – зовнішній та внутрішній радіус циліндра, м ;

- для тонкостінного циліндра

$$J = m R^2. \quad (2.3)$$

- для суцільного циліндра

$$J = \frac{1}{2} m R^2. \quad (2.4)$$

Кінетична енергія тіла, що рухається поступово, дорівнює сумі кінетичних енергій всіх n матеріальних точок на які це тіло можна розбити

$$E_k = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2}. \quad (2.5)$$

Якщо тіло обертається навколо нерухомої осі з кутовою швидкістю, то лінійна швидкість i -ої точки дорівнює, м/с

$$v_i = \omega r_i, \quad (2.6)$$

де r_i - відстань від точки i до осі обертання, м Кінетична енергія тіла, що обертається

$$E_k = \frac{\omega^2}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \frac{J \omega^2}{2}. \quad (2.7)$$

Робота, яка виконується при обертанні тіла, і зміна його кінетичної енергії пов'язані співвідношенням

$$A = \frac{J \omega_2^2}{2} - \frac{J \omega_1^2}{2}. \quad (2.8)$$

де ω_1, ω_2 – початкова і кінцева кутова швидкість, рад/с.

Загалом, рух твердої тіла можна розглядати як поєднання двох компонентів: поступального руху зі швидкістю, що дорівнює швидкості центру інерції, та обертового руху з кутовою швидкістю навколо миттєвої осі, яка проходить через центр інерції. При цьому формула для кінетичної енергії тіла набуває такого вигляду.

$$E_k = \frac{m v^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2}, \quad (2.9)$$

де J_c – момент інерції тіла відносно миттєвої осі обертання.

При обертанні маховика в газовому середовищі виникають аеродинамічні

втрати, що викликають відповідний момент опору обертанню. Для маховика циліндричної форми величина моменту визначається з виразу, кгс·м [38]

$$M = C_f \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^4 \cdot (R + 2,5 \cdot H), \quad (2.10)$$

де C_f – коефіцієнт моменту сил тертя;

ρ – густина повітря, кг·с²/м⁴;

R, H – радіус, ширина маховика, м.

Коефіцієнт моменту сил тертя C_f розраховується з вираження

$$C_f = \frac{0,0375}{\sqrt[5]{Re}}, \quad (2.11)$$

де $Re = \frac{\omega_0 \cdot R_0^2}{\nu}$ – число Рейнольдса;

ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с.

Для маховиків складної форми (рис. 2.1), величину моменту аеродинамічних опорів можна обчислити за емпіричною формулою, кгс·м

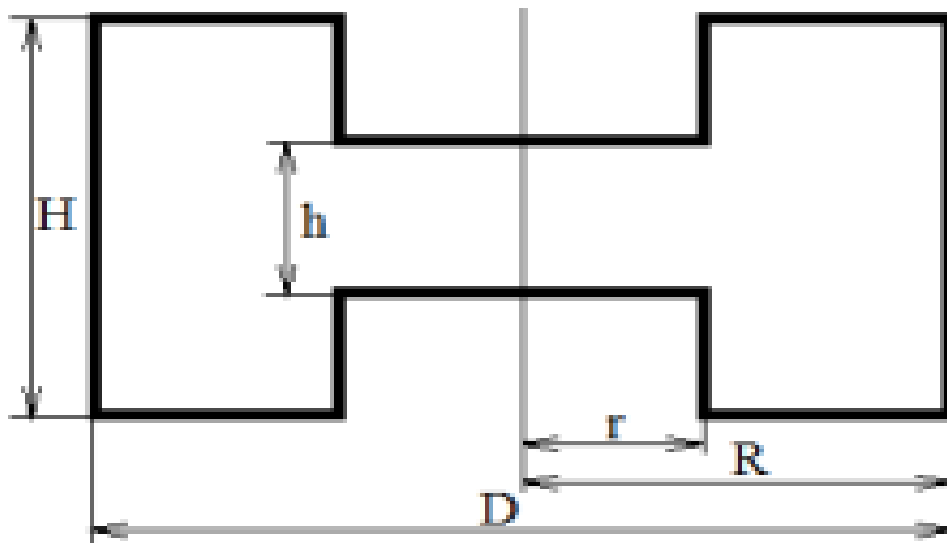


Рис. 2.1 – Схема маховика складної форми

$$M = C_{f1} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^4 \cdot (R + 2,5 \cdot H) + C_{f2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r^4 \cdot (H - h). \quad (2.12)$$

Для нормальних атмосферних умов при $t = 20$ °С, густина повітря $\rho = 0,118$ кг·с²/м⁴, кінематичної в'язкості повітря $\nu = 15,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с вираз (2.12) може

$$M = 4,84 \cdot 10^{-4} \cdot C_R \cdot \omega^{1,8}, \quad (2.13)$$

бути приведений до виду

де $C_R = R^{3,6} \cdot (R + 2,5 \cdot H) + 2,5 \cdot r^{3,6} \cdot (H - h)$ – коефіцієнт форми.

При обертанні маховика в кожусі з газовим середовищем завжди є така величина зазору, при якій спостерігається мінімум аеродинамічних опорів, мм

$$\delta = r \frac{2,97}{Re^{0,34}}, \quad (2.14)$$

де r – радіус поверхні тіла обертання, для якої визначається зазор, мм.

Наведений вираз справедливий при значенні $Re > 3,8 \cdot 10^5$.

Критерієм ефективності маховиків за однакового запасу енергії з точки зору аеродинамічних втрат виступає величина енергії, що витрачається на додання аеродинамічних сил за одиницю часу — потужність аеродинамічних втрат, яка визначається як $M \cdot \omega$. Чим менше це значення, тим більше енергії може бути використано маховиком для виконання корисної роботи за однакових умов.

Підставляючи значення моменту аеродинамічних сил (2.13), отримуємо вираз критерію досконалості маховиків

$$K = 4,84 \cdot 10^{-4} \cdot C_R \cdot \omega^{2,8}, \quad (2.15)$$

Одним з показників досконалості інерційного акумулятора служить тривалість часу вільного вибігу маховика. Рівняння руху маховика

$$J \frac{d\omega}{dt} = M + M_n, \quad (2.16)$$

де M_n – момент опору в підшипниках.

Значення моменту опору в підшипниках для маховика з вертикальною віссю обертання наближено визначається з виразу

$$M_n = f_n \cdot G_m \cdot \frac{d}{2}, \quad (2.17)$$

де f_n – наведений коефіцієнт тертя ($f_n \approx 0,002 \dots 0,003$);

G_m – вага маховика, Н;

d – діаметр маховика, м;

Підставляючи значення моментів аеродинамічних сил (2.13) і сил тертя в підшипниках (2.17) в рівняння руху маховика (2.16), після деяких перетворень

$$J \frac{d\omega}{dt} = 4,84 \cdot 10^{-4} \cdot C_R \cdot \omega^{1,8} + f_n \cdot G_m \cdot \frac{d}{2}. \quad (2.18)$$

Для практичного визначення вибігу маховика користуються формулою

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{J \cdot \Delta\omega}{4,84 \cdot 10^{-4} \cdot C_R \cdot \left(\frac{\omega_i + \omega_{i+1}}{2}\right)^{1,8} + f_n \cdot G_m \cdot \frac{d}{2}}, \quad (2.19)$$

де можна з достатньою точністю прийняти $\Delta\omega = \frac{\omega}{5...6}$.

Аналогічно визначаються основні параметри розгону маховика

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_z \cdot \eta_z}{i_z} - (M + M_n), \quad (2.20)$$

зарядним двигуном. Рівняння руху маховика при розгоні

де M_z , η_z , i_z – відповідно момент зарядного двигуна, ККД передачі від зарядного двигуна до маховика і її передаточне число.

При наявності характеристики зарядного двигуна $M(\omega)$ для визначення часу зарядки використовується формула

$$E_z = \sum_0^{\omega_0} \frac{J \cdot \Delta\omega}{\frac{M_z \cdot \eta_z}{i_z} - (M + M_n)}. \quad (2.21)$$

2.3.2 Транспортні засоби з маховиками

Історія використання маховиків у транспортних засобах нерозривно пов'язана з ім'ям видатних інженерів-винахідників, серед яких слід зазначити В.І. Шуберського, П.П. Шиловського та А.Р. Уфимцева. У 1860 році В.І. Шуберський вперше запропонував ідею застосування маховичних накопичувачів у транспорті, яку він втілював у концепції «маховоза». У 1914

році П.П. Шиловський створив перший гіроскопічний автомобіль, або «гірокар», який утримував рівновагу на двох колесах завдяки високошвидкісному маховику. Незабаром після цього А.Г. Уфимцев отримав патент на інновативний інерційний акумулятор, що значно перевершував найкращі зарубіжні аналоги того часу.

На території пострадянського простору, зокрема в Україні, наукові дослідження у сфері використання маховичних мехатронних двигунів почали розвиватися з 1950 року. Значний внесок у розвиток цієї науково-технічної галузі зробив відомий винахідник маховикових систем і варіаторів, доктор технічних наук, професор, академік Міжнародної академії екологічної безпеки і природокористування Н.В. Гуліа. Науковець запропонував новаторську концепцію електромобіля, силова установка якого включає джерело електричної енергії, електричний двигун, маховик, трансмісію (варіатор) та ведучі колеса. Система функціонує таким чином, що електрична енергія подається до двигуна, який забезпечує обертання маховика, механічно пов'язаного через трансмісію з ведучими колесами (рис. 2.2).

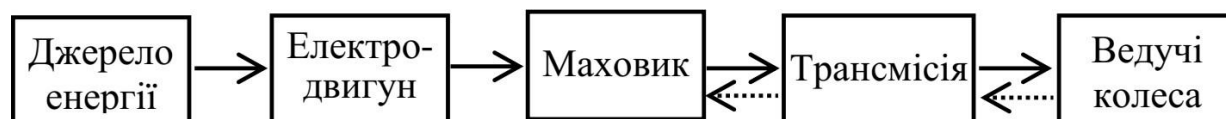


Рис. 2.2 – Схема електромобіля нової концепції проф. Н.В. Гуліа

Маховик характеризується високою питомою потужністю, що забезпечує ефективну передачу енергії до коліс, сприяючи динамічному прискоренню автомобіля. При цьому до 90 % накопиченої енергії може бути ефективно використано, що є значною перевагою порівняно з електрохімічними накопичувачами енергії, ефективність яких обмежена через невелику глибину розряду [39].

На сучасному етапі технологія застосування інерційних накопичувачів енергії починає знаходити практичне впровадження в транспортних засобах преміум-класу, а також у спортивних автомобілях. Зокрема, інженерами автомобільного концерну Jaguar Land Rover Ltd. розроблено прототип

автомобіля Jaguar XF, оснащеного маховичним енергетичним накопичувачем (рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Прототип Jaguar XF з маховичним накопичувачем енергії

Система маховикового гібридного приводу під назвою Flywheel Hybrid System for Premium Vehicles (FHSPV — маховик гібридної системи для преміальних транспортних засобів) є частиною проєкту Jaguar, на реалізацію якого було витрачено близько £3 млн. Основну частину фінансування проєкту забезпечив уряд Великої Британії. Маховик FHSPV функціонує у вакуумному середовищі, розвиваючи швидкість до 6283 рад/с (60 000 об/хв.), що дозволяє акумулювати і вивільнити енергію для подачі потужності до 60 кВт на ведучі колеса протягом 7 секунд. Цього цілком вистачає для розгону Jaguar XF до 33,33 м/с (120 км/год). Вся система FHSPV важить лише 65 кг і займає простір, порівняний зі стандартною акумуляторною батареєю. Попри це, серійне виробництво FHSPV поки що відкладається.

Інженери компанії Jaguar тестують цю технологію разом із системою "стоп/старт", яка автоматично вимикає двигун внутрішнього згоряння при зупинці автомобіля та знову приводить його в дію під час натискання педалі акселератора. Крім того, модель Jaguar XF оснащена системою рекуперації енергії гальмування. Маховик накопичує енергію, яка виділяється в процесі гальмування, і використовує її для запуску двигуна внутрішнього згоряння та сприяння його роботі під час прискорення автомобіля. Згідно з останніми тестами й дорожніми випробуваннями, ця система з маховиком забезпечує зниження витрат палива на 20% у міських умовах.

Німецький автоконцерн Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, відомий своїми розкішними спортивними авто, презентував на Женевському автосалоні модель Porsche GT3 R Hybrid, оснащену маховиковим накопичувачем енергії. Цікаво, що сам Фердинанд Порше ще у 1901 році створив перший у світі гібридний гоночний транспортний засіб з електроприводом.



Рис. 2.4 – Спортивний Porsche GT3 R Hybrid

Наразі концерн Porsche AG активно вивчає та вдосконалює концепцію створення гібридних силових установок для транспортних засобів. Інноваційні розробки у сфері гібридних технологій, здійснені інженерами компанії, орієнтовані переважно на потреби автоспорту. У цьому контексті було реалізовано суттєві удосконалення як у конфігурації, так і в складових компонентів традиційних гібридних систем. Однією з ключових розробок є автомобіль Porsche GT3 R Hybrid, який обладнано 4-літровим двигуном внутрішнього згоряння потужністю 350 кВт, що керує задньою віссю, а також двома електричними двигунами потужністю по 60 кВт кожний, розташованими на передній осі. Замість стандартних акумуляторних батарей у даній системі використовується мехатронний маховик-генератор, який постачає енергію для функціонування електричних двигунів.

Електромеханічний маховик моделі Porsche GT3 R Hybrid здатний досягати швидкості обертання до 4189 рад/с (що відповідає 40 000 об/хв) та виконує роль накопичувача механічної енергії, отриманої в процесі гальмування. Під час уповільнення транспортного засобу маховик прискорюється завдяки двом електричним машинам, які здійснюють перехід у

генераторний режим. У момент активного використання маховика він забезпечує додаткову потужність до 120 кВт протягом 6–8 секунд, що досягається шляхом повного розкручування його системи. Це технічне рішення сприяє підвищенню загальної ефективності Porsche 911 GT3 R Hybrid, зокрема зі зменшенням частоти необхідності піт-стопів під час експлуатації.



Рис. 2.5 – Електромеханічний маховик автомобіля Porsche GT3 R Hybrid

Інноваційна система KERS з маховиком, розроблена компанією Flybrid, здатна обертатися із максимальною швидкістю до 6700 рад/с (що еквівалентно 64000 об/хв) і має вагу в 5 кг. Дана технологія була успішно випробувана в жорстких умовах Формули-1, після чого стала основою для виробництва серійних автомобілів. У режимі роботи накопичувача енергії система KERS функціонує безперервно, а її активація можлива завдяки натисканню спеціальної кнопки на кермі боліда при швидкості понад 27,8 м/с (100 км/год). Під час тестових заїздів було виявлено, що використання цієї системи забезпечує перевагу до 0,4 с на колі в порівнянні зі стандартною комплектацією автомобіля, що на фінішній прямій дає перевагу приблизно у 30 м.

Маховичний накопичувач енергії системи KERS демонструє виняткову витривалість, перевищуючи позначку 10 мільйонів циклів "заряд-розряд". Його питома потужність становить 3 кВт/кг, а питома енергоємність досягає показника 32,5 кДж/кг. Вартість встановлення гібридної системи для легкового автомобіля оцінюється в межах \$1300. Крім основної функціональності, маховик KERS може бути адаптований у якості

трансмійного компонента для автомобілів. У порівнянні з популярними на ринку роботизованими преселективними механічними коробками передач із двома зчепленнями, маховик із магнітною муфтою забезпечує підвищену економічність на рівні близько 20%.

За твердженням Енді Аتكінса, експерта компанії Flybrid, потенціал застосування системи KERS є значним. Зокрема, механічні системи, які працюють у режимах змінних потоків потужності, можуть демонструвати підвищену ефективність у діапазоні 20–30%.

2.3.3 Проблеми та перспективи застосування маховиків на транспорті

Дослідження свідчать, що масове впровадження та поширення маховичних накопичувачів енергії у транспортній сфері поки що не досягло широкого масштабу. Водночас більшість недоліків, притаманних першим версіям таких накопичувачів, уже успішно усунені:

1) Значна маса. Приміром, електромеханічна гібридна приводна система з маховиком FHSPV у автомобілі Jaguar XF важить лише 65 кг, додаючи потужність у 60 кВт на період до 10 секунд. У порівнянні з бензоелектричними гібридними системами це досить непоганий показник компактності та ваги. Окрім цього, система KERS виробництва Flybrid важить лише 5 кг, що в 3-4 рази менше за стандартну акумуляторну батарею автомобіля.

2) Ризик при високих швидкостях обертання. Сучасні технології створення маховиків із композитних матеріалів, таких як сталь, пластичні стрічки, скловолокно або вуглецеві композити, усувають цей недолік. Ба більше, вони значно підвищують питому енергоємність накопичувача за рахунок збільшення швидкості обертання. Безпека конструкції ретельно перевіряється за допомогою серії краш-тестів – захисна карбонова оболонка навіть за надвисоких обертів не дозволяє окремим елементам сталюого маховика пошкоджувати корпус.

3) Складність конструкції. Головним недоліком є необхідність розробки

маховика-генератора та механічного приводу до коліс, що справді ускладнює загальну конструкцію автомобіля. Однак порівняно з бензоелектричними гібридними установками така структура виглядає більш спрощеною.

5) Гіроскопічний ефект маховика. Відомо, що гіроскоп прагне зберігати постійне положення у просторі. Аналогічний ефект маховика може погіршити керованість автомобіля через його велику масу та високу швидкість обертання. Проте існують інженерні рішення для важких, надпотужних маховиків, які усувають цю проблему.

6) Значні втрати енергії. На відміну від акумуляторів, маховики швидше втрачають енергетичний потенціал через тертя підшипників, опір навколишнього середовища тощо. Сучасні технології дозволяють мінімізувати ці втрати шляхом використання вакуумних кожухів чи магнітної підвіски. Маховик, вал і генератор інтегруються в єдиний вузол для оптимізації роботи системи. Енергетичний запас маховиків на автомобілях може зберігатися від кількох хвилин до декількох годин.

Переваги застосування маховичних накопичувачів енергії у транспортних засобах очевидні: екологічна безпечність; довговічність із терміном служби понад 20 років; швидке накопичення та передача механічної енергії; практично необмежена кількість циклів заряд-розряд (більше ніж 10 мільйонів); відсутність потреби в технічному обслуговуванні; висока питома енергоємність.

Таблиця 2.3

Питома енергоємність маховичних накопичувачів енергії

Тип маховика	ККД, %	Питома енергоємність, кВт·год/кг	Питома енергоємність з урахуванням ККД, кВт·год/кг
Сталевий маховик	80...90	0,05	0,049
Маховик з вуглецевого волокна	80...95	0,215...0,5	0,21...0,49

Маховик з кварцового скла	85...95	0,9	0,88
Кільцевий маховик	90...95	1,4...4,17	1,36...4,08

2.3.4 Розробка гібридної силової установки з маховиком

На кафедрі механічної інженерії та автомобільного транспорту Державного університету «Житомирська політехніка» здійснено розробку інноваційного мехатронного накопичувача енергії, призначеного для використання у гібридних транспортних засобах. Основний акцент у проектуванні схемних рішень цього пристрою зроблено на мінімізацію втрат кінетичної енергії, що виникають під час гальмування. Для досягнення цього використано мехатронний накопичувач енергії, конструкція якого інтегрує реверсивну електричну машину та маховик (рисунок 2.6), що забезпечує ефективне збирання і збереження енергії. На кафедрі механічної інженерії та автомобільного транспорту Державного університету «Житомирська політехніка» здійснено розробку інноваційного мехатронного накопичувача енергії, призначеного для використання у гібридних транспортних засобах. Основний акцент у проектуванні схемних рішень цього пристрою зроблено на мінімізацію втрат кінетичної енергії, що виникають під час гальмування. Для досягнення цього використано мехатронний накопичувач енергії, конструкція якого інтегрує реверсивну електричну машину та маховик (рисунок 2.6), що забезпечує ефективне збирання і збереження енергії.



Рис. 2.6 – Принцип роботи мехатронного накопичувача енергії

Запропонована мехатронна система функціонує таким чином:

1) У режимі гальмування тяговий електродвигун переходить у генераторний режим, забезпечуючи перетворення механічної енергії ведучих коліс автомобіля в електричну енергію з коефіцієнтом корисної дії 90–95 %. Невелика частка цієї електроенергії (3–5 %) через перетворювач напруги використовується для заряджання тягової акумуляторної батареї, тоді як більша частина (85–90 %) спрямовується на розгін маховика. Для повного заряду мехатронного накопичувача енергії достатньо кількох секунд гальмування.

2) У режимах початку руху, розгону або інтенсивного прискорення накопичена у маховику енергія через електричний ланцюг, що включає електричний генератор та двигун, передається на ведучі колеса. Завдяки високій миттєвій потужності на виході маховика, ця енергія дозволяє швидко досягти необхідної швидкості. Тяговий електродвигун також отримує струм від акумуляторної батареї, але його обсяг значно менший.

3) У режимі зупинки енергія, накопичена в маховику, через електричний генератор та перетворювач напруги, використовується для заряджання акумуляторної батареї.

Найвища ефективність запропонованої конструкції мехатронного накопичувача енергії спостерігається під час міського циклу руху, де постійно чергуються фази гальмування та інтенсивного розгону автомобіля. Інтеграція такого накопичувача в традиційні гібридні силові установки сприяє зниженню витрат пального та обсягу шкідливих викидів, підвищенню загальної надійності системи та збільшенню ресурсу акумуляторної батареї.

2.4 Висновки до другого розділу

Дослідження підтверджують, що ключовими напрямками підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів є вдосконалення їхньої паливної економічності та екологічної безпеки через впровадження альтернативних джерел енергії. На сьогодні активно розвиваються такі

напрями використання альтернативних джерел, як паливні елементи на основі водню, інерційні накопичувачі, іоністори, електрохімічні акумулятори та інші. Головний недолік цих джерел енергії полягає у їхній відносно низькій питомій енергоємності. Енергоємність вуглеводневого палива, навіть з урахуванням нижчого коефіцієнта корисної дії двигунів внутрішнього згорання, перевищує енергоємність сучасних акумуляторів приблизно у 40 разів.

Паливні елементи на основі водню мають значно вищу питому енергоємність, яка досягає 38 кВт·год/кг, що втричі перевищує показники вуглеводневого палива. Однак їх широке впровадження стримується високою вартістю водневих установок та недостатньо розвиненою інфраструктурою для заправки, що перешкоджає активному застосуванню водневих технологій у сучасному автомобілебудуванні.

Застосування інерційних накопичувачів енергії демонструє перспективи розвитку для автомобільного транспорту. Енергія, накопичена у маховику, використовується на 90%. На відміну від акумуляторних батарей, висока потужність як при відборі енергії з маховика, так і при її збереженні не супроводжується значними втратами енергії та не знижує ресурс його експлуатації.

Маховичні накопичувачі енергії є особливо актуальними для спортивних автомобілів, гоночних машин і міських автобусів, де їхні переваги стають найбільш помітними.

З ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

3.1. Сталий розвиток транспортних засобів

Науково-технічні засади підвищення ефективності використання транспортних засобів органічно відповідають загальній концепції сталого розвитку суспільства. Ця концепція спрямована на зростання добробуту населення та створення стабільної основи для економічного, соціального, екологічного й здорового розвитку як у нинішньому часі, так і для майбутніх поколінь (див. рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Складові частини концепції створення гібридних транспортних засобів

Сталий розвиток (sustainable development) репрезентує концепцію економічних і соціальних трансформацій, в рамках якої раціональна експлуатація природних ресурсів, стратегічне спрямування інвестицій, інноваційний прогрес у науці й техніці, особистісний розвиток та інституційні реформи взаємопов'язані та спрямовані на зміцнення поточного й перспективного потенціалу задля задоволення базових потреб людства.

Основна мета такого підходу полягає у підвищенні якості життя. У контексті цієї парадигми гібридні транспортні засоби відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної, соціальної та економічної стійкості суспільства.

Аналіз перспективних шляхів підвищення ефективності функціонування транспортних засобів і систем, орієнтованих на принципи сталого розвитку, свідчить про стратегічну значущість наступних взаємопов'язаних напрямків удосконалення транспортного комплексу:

- Підвищення екологічної безпеки через розвиток альтернативних джерел енергії та силових установок, зокрема використання гібридних автомобілів та електромобілів.

- Інтеграція транспортних засобів у загальний інформаційний простір транспортної інфраструктури шляхом застосування штучного інтелекту, що включає комплексне управління транспортними засобами та системами.

- Підвищення рівня безпеки як для індивідуальних транспортних засобів, так і для всієї транспортної системи.

Європейська транспортна політика спрямована на скорочення залежності від імпорту нафти та зниження на 60% обсягів викидів вуглекислого газу у сфері транспорту до 2050 року. Для міського транспорту передбачається перехід на екологічно чисті види транспорту й палива. Зокрема, до 2030 року планується зменшити використання автомобілів із традиційними видами палива у містах на 50%, а до 2050 року повністю заборонити їх експлуатацію в міських умовах.

Новітні інформаційні технології та системи обміну даними між автомобілями і загальною транспортною інфраструктурою отримують дедалі ширше застосування. Цифровізація транспортної галузі, включаючи створення електронних дорожніх карт, дозволить інтегрувати управління автомобілями у єдиний інформаційний простір транспортних систем. Подальший розвиток такого цифрового середовища сприятиме впровадженню систем автоматичного керування автотранспортом, що суттєво підвищить безпеку руху та ефективність використання транспортної інфраструктури.

Інноваційний прогрес у сфері транспорту вимагає розробки нових інтелектуальних підходів до вирішення транспортних викликів як на рівні окремих транспортних засобів, так і на рівні загальної інфраструктури. Сьогодні інтелектуальні транспортні системи різного рівня активно розробляються у провідних країнах світу. Сфери їх застосування охоплюють широкий спектр питань – від оптимізації роботи громадського транспорту до вирішення глобальних екологічних та енергетичних проблем сучасності.

Головним викликом для розробників транспортних засобів і систем у цілому залишається питання підвищення безпеки дорожнього руху. Задля цього активно впроваджуються інтелектуальні автомобілі, здатні рухатися дорогами загального користування без участі водія. Наступним логічним етапом розвитку є створення інтелектуальних транспортних систем, які зможуть управляти усіма складовими транспортної інфраструктури.

Сьогодні значний прогрес спостерігається у розробці таких інтелектуальних технологій для транспорту: управління трафіком та перевезеннями, забезпечення безпеки й ліквідація наслідків дорожньо-транспортних пригод, а також впровадження інформаційних систем і автоматизація процесів оплати.

Компанія Google зареєструвала в Бюро патентів США технологію під назвою "Перехід багаторежимного автомобіля в автономний". У патентній заявці описується алгоритм, за яким обладнаний автомобіль визначає оптимальну траєкторію для свого самостійного руху. Автономні автомобілі Google працюють на основі даних, отриманих за допомогою спеціалізованих камер, лазерних радарів і GPS-систем. Крім того, вони отримують інформацію про кожен конкретну дорогу, включно з кількістю смуг, розташуванням світлофорів, дорожніх знаків і покажчиків, з серверів Google. У планах компанії також тестування автомобілів у складних умовах, наприклад на засніжених дорогах, а також навчання їх розпізнавання тимчасових дорожніх знаків та світлофорів на ділянках із ремонтом.

Паралельно з Google над системами автопілота працюють такі великі

корпорації, як Cadillac, BMW, Volkswagen, Volvo, Continental та інші. Наприклад, Nissan планує до 2020 року розпочати серійне виробництво повністю автономних автомобілів, здатних пересуватися по дорогах без участі людини. Для досягнення цієї мети необхідно вдосконалити технології бездротової комунікації між транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою, а також системи орієнтації в просторі. Проєкт передбачає створення принципово нової транспортної інфраструктури, в основі управління якою будуть задіяні штучні нейронні мережі.

3.2. Енергозберігаючі технології на базі фотоелектричних перетворювачів

Підвищення ефективності використання транспортних засобів, як у контексті екологічної чистоти, так і економічної доцільності, стає можливим завдяки впровадженню енергозберігаючих технологій, зокрема на основі фотоелектричних перетворювачів. Пропонується проаналізувати перспективи застосування сонячних енергосистем на транспортних засобах. У цьому напрямку розробимо структурну схему системи електроживлення, що базується на сонячних батареях, для гібридного автомобіля або електромобіля. Також буде виконано розрахунки ефективності такої системи та визначено дистанцію, яку зможе долати транспортний засіб за рахунок енергії сонячного випромінювання. Приклад розрахунків буде здійснено для кліматичної зони міста Вінниця.

Типова сонячна система електроживлення для споживачів постійного та змінного струму включає фотоелементи, накопичувач енергії (акумуляторні батареї), інвертор та систему керування (рисунок 3.2).

Для оцінки доцільності використання фотоелектричних перетворювачів на транспортних засобах в умовах клімату України слід здійснити аналіз рівня інсоляції (інтенсивності сонячного випромінювання) по регіонах країни. Для цього використовуються дані NASA щодо сонячної радіації (таблиця 3.1).



Рис. 3.2 – Схема структурна системи електроживлення на фотоелементах

У процесі оцінювання ефективності впровадження енергозберігаючих технологій на основі фотоелектричних перетворювачів слід враховувати, що максимальна інтенсивність сонячного випромінювання, яке досягає земної поверхні, становить 1000 Вт/м². Це свідчить про те, що площа в 1 м² отримує сонячну енергію в обсязі 1000 Вт•год на годину. Для обґрунтування доцільності застосування фотоелектричних технологій у транспортних засобах, які, наприклад, функціонують у місті Вінниця, необхідно визначити умовну кількість пікових годин сонячного випромінювання на місяць у цьому регіоні. Ці пікові години характеризуються досягненням максимальної інтенсивності електромагнітного сонячного випромінювання.

$$n = \frac{E \cdot N_m \cdot 1000}{w_{\max}}, \quad (3.1)$$

де n – кількість пікових годин на місяць, год;

E – середній денний рівень сонячної радіації за місяцями та за регіонами (див. табл. 4.1), кВт•год/м²/день;

N_m – кількість днів у відповідному місяці;

$w_{\max}$ – максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на земну поверхню, Вт/м².

Екологічна перевага електромобілів є відносною, оскільки заряджання тягових акумуляторних батарей здійснюється за рахунок енергії електростанцій, які самі по собі можуть спричиняти негативний вплив на навколишнє середовище. Натомість сонце виступає джерелом екологічно чистої та невичерпної енергії. У зв'язку з цим застосування сонячних батарей для

забезпечення руху транспортних засобів відкриває перспективи розвитку нового напрямку в автомобільній промисловості.

Таблиця 3.1 Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями у різних містах України

Місяць Регіони	Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями, кВт·год/м ² /день												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

Сонячний модуль SunRoof протягом обраного періоду часу виробить електричну енергію, Вт·год

$$W = k \cdot n \cdot P_M, \quad (3.2)$$

де W – кількість енергії, що може накопичити система електроживлення на фотоелементах за рахунок сонячного випромінювання, Вт·год;

k – поправочний коефіцієнт, що враховує зниження рівня опромінювання фотоелементів в залежності від кута падіння сонячного світла та падіння потужності фотоелементів в результаті нагрівання (влітку $k = 0,5$, взимку $k = 0,7$);

P_M – потужність фотоелементів, Вт.

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність впровадження енергозберігаючих технологій на транспортних засобах із використанням фотоелектричних перетворювачів. Розроблено методику розрахунку ефективності експлуатації такої системи. Для умов міста Вінниці визначено орієнтовну кількість пікових сонячних годин (166,78 год.) та обсяг енергії, яку система електроживлення на основі фотоелементів потужністю 250 Вт здатна накопичити завдяки сонячному випромінюванню (понад 132 кВт·год. на рік).

3.3. Адаптивний круїз-контроль на базі штучної нейронної мережі

Однією з головних проблем покращення ефективності використання транспортних засобів залишаються негативні наслідки роботи транспорту, зокрема збільшення споживання невідновлюваних та обмежених енергетичних ресурсів, а також погіршення стану навколишнього середовища. Зменшення впливу автотранспорту на екологію можна досягти через інтеграцію штучного інтелекту в системи управління транспортом та транспортною інфраструктурою, зокрема засоби зв'язку, контролю і прийняття рішень. Рішення цієї проблеми полягає у створенні інтелектуальних транспортних систем, які об'єднують сучасні інформаційні та комунікаційні технології, автоматизацію, транспортну інфраструктуру, самі транспортні засоби та їхніх користувачів. Це спрямовано на підвищення ефективності роботи транспортної системи, забезпечення безпеки руху та підвищення комфорту для водіїв і пасажирів.

Для оптимізації пересування транспортного засобу із системою автоматичного управління в залежності від дорожньо-транспортних умов варто впроваджувати штучні нейронні мережі. Саме тому розробка інтелектуальних транспортних систем для управління як окремими транспортними одиницями, так і всією системою стала особливо актуальною. Одним з практичних прикладів таких систем є адаптивний круїз-контроль, який демонструє принцип використання штучних нейронних мереж.

Адаптивний круїз-контроль дозволяє автоматично підтримувати задану швидкість без активної участі водія та знижує її при виникненні перешкод на дорозі. Якщо автомобіль попереду уповільнює рух, така система, окрім регулювання роботи двигуна, застосовує також гальмівну систему. Просунуті моделі, як, наприклад, автомобіль Volvo XC90, плануються до оснащення адаптивним круїз-контролем із функцією автономного управління. Ця функція дозволяє задіяти систему рульового управління для гарантування безпечного маневрування і запобігання зіткненням. Для виявлення перешкод адаптивний круїз-контроль може використовувати різні датчики, наприклад радіолокаційні. Система Autocruise компанії TRW працює на частоті 77 ГГц, забезпечуючи дальність дії до 150 метрів та функціонуючи при швидкості автомобіля від 30 до 180 км/год.

Найбільш перспективними вважаються датчики, побудовані на основі штучних нейронних мереж, які охоплюють як окремі автомобілі, так і всю транспортну систему загалом. Такі нейронні мережі базуються на принципах руху біологічних об'єктів, наприклад сарани, бджіл, риб чи птахів, що робить їх ефективним механізмом прогнозування можливих зіткнень.

Закони руху косяків риб чи зграй птахів можуть бути адаптовані до управління транспортними потоками, особливо при високій щільності руху:

- 1) уникнення зіткнень із сусідніми транспортними засобами;
- 2) дотримання безпечної дистанції між автомобілями залежно від їхньої швидкості;
- 3) рух в одному напрямку з максимально можливою швидкістю.

Інтеграція таких принципів у транспортну інфраструктуру здатна значно покращити як безпеку на дорогах, так і ефективність використання ресурсів.

Біологічні організми демонструють здатність переміщуватися на мінімальні відстані один від одного з високими швидкостями, уникаючи зіткнень. Це явище, якщо втілити в транспортних системах, може сприяти значному підвищенню пропускної здатності дорожньої інфраструктури, усуненню заторів і покращенню загальної ефективності руху. Зокрема, моделювання таких алгоритмів відкриває нові підходи для адаптації природних принципів до транспортного середовища.

Згідно з науковими даними (див. джерело [32]), зграї сарани забезпечують уникнення зіткнень із наближеними об'єктами за рахунок роботи двох специфічних типів нейронів: нейронів-детекторів руху великих об'єктів (lobula giant movement detector, LGMD) та нейронів-детекторів руху в протилежних напрямках (descending contralateral movement detector, DCMD). Ці нейрони генерують серію електричних імпульсів під час наближення об'єкта; частота цих імпульсів зростає при зменшенні відстані до нього та досягає максимуму в момент потенційного зіткнення. Таким чином, система реагування базується на аналізі просторово-часових характеристик руху.

Результати досліджень, наведені в [33], демонструють, що використання генетичних алгоритмів для навчання LGMD нейронів на основі візуальних спостережень дозволяє не лише моделювати критичні моменти взаємодії транспортного потоку, але й оптимізувати механізми уникнення аварій. Більше того, такі методи полегшують впровадження паралельних обчислень у системах автоматизованого управління, що сприяє підвищенню їхньої продуктивності та адаптивності.

При застосуванні зазначених біологічно натхнених підходів в рамках штучної нейронної мережі для моделювання транспортного потоку пропонується структура, що включає декілька елементарних детекторів руху для аналізу напрямків пересування. Центральну роль виконує нейрон типу LGMD, який застосовується для фільтрації вхідних відеосигналів. Архітектура

LGMD нейрона структурована у три основні шари: Р-шар, що моделює функцію фоторецепторів, І-шар (збудливий) та S-шар (гальмуючий). Таким чином, така модель здатна імітувати функціональні можливості природної системи і є перспективною для впровадження у сферу автономного управління транспортом (рис. 3.3).

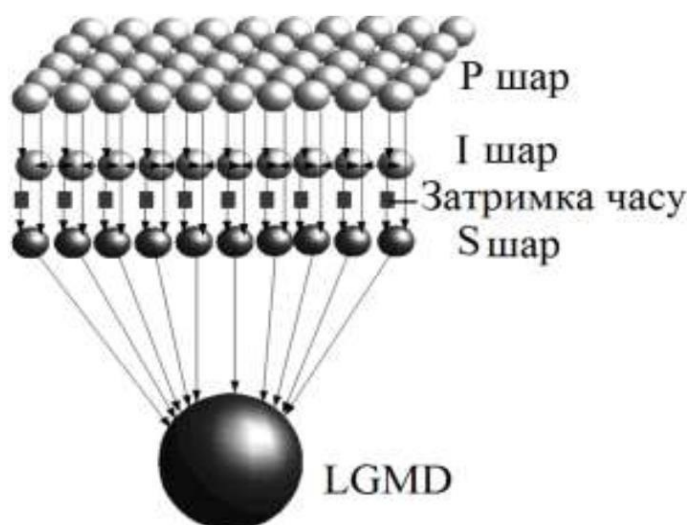


Рис. 3.3 – Структура нейрона типу LGMD

Вихід кожного рецептора вхідного Р шару визначається люмінесценцією пікселів вхідного зображення

$$P^{n+1}(x, y) = L^n(x, y) - L^{n-1}(x, y), \quad (3.3)$$

де $L^n(x, y)$, $L^{n-1}(x, y)$ – люмінесценція пікселя з координатами (x, y) n і $n-1$ вхідного зображення.

У рамках процесу навчання нейронної мережі застосовується метод конкурентного навчання. Структура функціонування та навчання нейронної мережі, побудованої на основі нейронів LGMD, реалізується таким чином. Сигнали, що утворюються на рівні рецепторного шару, передаються до збуджувального шару (І) або до гальмівного шару (S) нейронів. У цьому випадку механізм гальмування, пов'язаний із пікселем з координатами (x, y) , поширюється виключно на його найближчих сусідів. Водночас вихідний сигнал з цього ж пікселя обчислюється відповідно до заданого математичного виразу.

$$I^n(x, y) = \sum_i \sum_j P^{n-1}(x+i, y+j) w^n(i, j), \quad (3.4)$$

де $w^n(i, j)$ – локальна синаптична вага.

Розрахунок збуджуючих і гальмуючих сигналів відбувається відповідно до вираження

$$E^n(x, y) = P^n(x, y) - I^n(x, y) \cdot W^n, \quad (3.5)$$

де W^n – синаптична вага гальмуючого нейрона.

Наступний крок – це обчислення коефіцієнта, що враховує вплив найближчих сусідів даного пікселя

$$Ce^n(i, j) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 E^{n-1}(x+i, y+j) \cdot w_e(i, j). \quad (3.6)$$

$$w_e(i, j) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.7)$$

Матриця $w_e(i, j)$ відображає вплив сусідів пікселів і представляється матрицею згортки виду

Кінцевий мембранний потенціал нейрона LGMD визначається з урахуванням фільтрації вихідного збудливого сигналу (для видалення шуму) шляхом множення цього сигналу на коефіцієнт, а саме

$$s^n = \sum_x \sum_y |E^n(x, y)| \cdot Ce^n(x, y) \cdot \omega^{-1} \quad (3.8)$$

де ω масштабуючий коефіцієнт, який визначається з урахуванням середніх значень $Ce^n(x, y)$ і залежить від вихідного образу.

Включення сигналу-імпульсу про загрозу зіткнення досягається при перевищенні деякого граничного значення мембранного потенціалу. Це порогове значення зазвичай вибирається методом адаптації між початковим

заданим значенням b_{in} і значенням потенціалу на кожній ітерації b_s . Якщо мембранний потенціал $\tilde{s}$ перевищує порогове значення b_s формується імпульс, який передається в систему гальмування транспортного засобу

$$b_s = \begin{cases} b_s + \Delta t, & \tilde{s} > s_{\max}, & b_s + \Delta t \in b_l, b_h \\ b_s - \Delta t, & \tilde{s} < s_{\max}, & (b_s - \Delta t) \in b_l, b_h \\ b_h \end{cases}, \quad (3.9)$$

де b_l, b_h – верхній і нижній поріг адаптації,

Δt – крок процесу адаптації,

$\tilde{s}$ – середнє значення мембранного потенціалу,

$s_{\max}$ – максимальне значення мембранного потенціалу.

Розробка нейронних мереж такого рівня вже дозволяє їх інтегрувати в сучасні бортові комп'ютери, які працюють на високоефективних інтегральних схемах. Завдяки цьому нейромережі типу LGMD успішно застосовуються для прогнозування зіткнень у транспортному потоці, навіть у реальних умовах.

Для підвищення ефективності використання транспортних засобів і автоматизованих систем особливо перспективним є впровадження нейронних мереж, що базуються на принципах руху біологічних об'єктів. Одним із ключових методів забезпечення безпеки на дорогах стає інтеграція в бортові комп'ютери функцій прогнозування аварійно-небезпечних ситуацій. Такі системи здатні аналізувати динаміку руху, своєчасно передавати попереджувальні сигнали та активувати гальмівну систему під час наближення до потенційного об'єкта зіткнення.

Подальший розвиток цього підходу дає змогу не лише керувати окремими транспортними засобами, але й управляти цілими транспортними потоками. Ідея полягає в оснащенні всіх автомобілів аналогічними системами

безпеки на базі штучних нейронних мереж, що значно оптимізує їх взаємодію в процесі руху. Такий комплексний підхід дозволить суттєво підвищити загальну ефективність використання транспортних засобів, які рухаються в єдиному напрямку.

3.4. Автомобільний бортовий реєстратор

Розв'язання проблеми підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів може бути досягнуто шляхом поліпшення рівня їхньої безпеки, зокрема через інтеграцію бортових реєстраторів. Ці пристрої дозволяють у реальному часі фіксувати функціональний стан та загальні параметри системи, яка охоплює водія, транспортний засіб і дорожнє середовище (концепція «водій – автомобіль – дорожнє середовище», ВАДС).

Бортові реєстратори, часто згадувані як «чорні ящики», уже кілька десятиліть є невід'ємною складовою авіаційної техніки. З початку 1960-х років вони стали обов'язковим обладнанням на комерційних авіалайнерах, забезпечуючи запис ключових робочих параметрів літака і аудіопереговорів між членами екіпажу. Дані, отримані з таких пристроїв, проходять аналіз наземними службами після кожного польоту з метою оцінки граничних режимів експлуатації систем і агрегатів літального апарату. У разі аварійної ситуації ці записи використовуються для встановлення причин інциденту.

Останнім часом технологія бортових реєстраторів почала активно адаптуватися для використання в автомобільній промисловості. Провідні виробники розробляють як окремі пристрої, так і додатки для автомобілів, які виконують аналогічні функції. Автомобільні бортові реєстратори забезпечують реєстрацію основних параметрів роботи транспортного засобу, таких як швидкість пересування, оберти двигуна, активація гальм, прискорення тощо. Крім того, вони дозволяють точно визначити місцезнаходження автомобіля на момент інциденту. У нормативно-правовій термінології США ці пристрої називаються Event Data Recorder (EDR), що перекладається як «реєстратор даних про події».

До переліку даних, що реєструються системою EDR, належать:

- швидкість транспортного засобу;
- ступінь натискання педалі гальма;
- сили, що діють на автомобіль під час зіткнення;
- рівень відкриття дросельної заслінки двигуна;
- час активації та готовність надувних подушок безпеки;
- статус ременів безпеки в момент аварії.

З метою підвищення безпеки дорожнього руху Національне управління з безпеки руху автотранспорту США (NHTSA) запровадило новий нормативний стандарт, згідно з яким усі легкові транспортні засоби, що надходять у продаж на території США, повинні бути оснащені бортовими реєстраторами в обов'язковому порядку.

Для забезпечення високого рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху доцільно оснащувати транспортні засоби сучасними бортовими реєстраторами, які здійснюють моніторинг, запис та оперативне повідомлення водія про стан ключових параметрів системи ВАДС. На підставі прогресивного розвитку комп'ютерних і супутникових технологій, що активно інтегруються як у високотехнологічне машинобудування, так і в створення дорожньої інфраструктури, автомобіль стає дедалі інтелектуальнішим, безпечнішим і більш орієнтованим на задоволення потреб водія та пасажирів. Дані, отримані з бортових реєстраторів, мають потенціал слугувати доказовою базою для аналізу порушень правил дорожнього руху, встановлення причин дорожньо-транспортних пригод (ДТП), визначення винуватців аварій, а також сприяти оптимізації вартості перевезень і підвищенню рівня культури поведінки на дорогах. Крім того, впровадження таких реєстраторів може усунути або мінімізувати ризики так званих «автопідстав» і забезпечити захист громадян від неправомірних дій представників правоохоронних органів.

Особливо важливою є функція фіксації основних параметрів транспортного засобу в режимі реального часу як у процесі його руху, так і під

час зупинки. Така фіксація має включати:

- аудіо- та відеозапис з декількох камер спостереження для повного огляду стану дороги, зовнішнього середовища та салону автомобіля;
- точні дані щодо місцезнаходження транспортного засобу та його орієнтації відносно дорожнього покриття з метою виявлення потенційних ситуацій, як-от занос чи вихід на смугу зустрічного руху;
- показники основних робочих параметрів автомобіля, силової установки та гальмівної системи, зокрема швидкість, поздовжнє і поперечне прискорення (уповільнення), статус педаль акселератора та гальма, час і інтенсивність роботи системи гальмування (ABS, EBD, VDIM тощо), оберти двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), потужність та інші технічні характеристики.

Інформація з бортового реєстратора може забезпечити аналіз:

- технічного стану агрегатів і систем транспортного засобу для оперативного інформування водія та сервісних центрів або станцій технічного обслуговування про будь-які несправності;
- фактів перевищення допустимої швидкості із повідомленням водія про порушення або за необхідності передачу даних органам контролю безпеки дорожнього руху;
- утворення заторів на маршруті з метою своєчасного попередження водія про складну дорожню ситуацію;
- оптимальної швидкості руху на різних ділянках шляху для ефективної навігації.

У перспективі автомобільний бортовий реєстратор здатний виконувати функції охоронно-пошукових систем. Він має залишатися в активному режимі як під час руху транспортного засобу, так і у стані охоронюваної стоянки. Це забезпечить фіксацію потенційних спроб несанкціонованого доступу до автомобіля і передачу інформації про інциденти на центральний пункт охорони або водію. Крім того, реєстратор може зафіксувати на камери злочинців при спробах крадіжки майна з салону, а у випадку викрадення автомобіля—відключити основні кола живлення силової установки та

визначити точне місцезнаходження транспортного засобу.

Однією з ключових функцій сучасного бортового реєстратора є автоматична система повідомлення про дорожньо-транспортну пригоду. Вона оперативно передає дані відповідним службам — поліції та медичним підрозділам — щодо місцезнаходження аварії та попередньої тяжкості отриманих травм.

Встановлення автомобільних реєстраторів значно збільшує шанси запобігти аваріям та зменшити їхні наслідки. Дані, отримані за допомогою реєстраторів, відіграють важливу роль у встановленні ступеня вини водіїв у разі дорожньо-транспортних пригод, аналізі причин їх виникнення, а також у виявленні неправомірних дій зловмисників. Запровадження обов'язкового використання бортових реєстраторів у всіх транспортних засобах сприятиме покращенню загальної надійності автомобілів, підвищенню рівня безпеки дорожнього руху та удосконаленню культури праці в автомобільному секторі. Реєстратори здатні фіксувати детальні дані про функціонування системи автомобіля, що особливо важливо для аналізу причин ДТП. Зібрана інформація згодом може бути використана як виробниками транспортних засобів, так і державними службами, щоб зробити автомобільну інфраструктуру більш безпечною і комфортною.

3.5. Перспективні енергозберігаючі технології для транспортних засобів

Енергозбереження та забезпечення екологічної чистоти займають провідні позиції у процесі розвитку ринку споживчих послуг і матеріалів. Використання альтернативних джерел енергії у транспортній сфері набуває дедалі більшої актуальності, особливо в умовах стрімкого вдосконалення енергозберігаючих технологій.

До енергозберігаючих технологій, що знайшли застосування у транспортних засобах, можна віднести такі напрямки:

- Генерація енергії безпосередньо на борту транспортного засобу під час

його руху, що може здійснюватися шляхом використання різноманітних систем рекуперації енергії та безперервної зарядки тягових акумуляторних батарей від альтернативних зовнішніх джерел, таких як сонячне випромінювання.

- Скорочення аеродинамічного опору транспортного засобу через інноваційні рішення, наприклад, установлення внутрішніх систем заднього виду, які складаються з камер огляду заднього простору або кругового огляду та внутрішніх бокових моніторів, що заміняють традиційні зовнішні дзеркала заднього виду. Аналогічно ефективним рішенням є використання дверних вікон із вбудованими москітними сітками.

Варто зауважити, що обмеженість енергетичного ресурсу в гібридних транспортних засобах або електромобілях стимулює автовиробників до впровадження різноманітних енергозберігаючих систем і технологій. Крім того, майстерність економного стилю водіння також суттєво впливає на енергетичну ефективність транспортних засобів з електричним приводом.

У підрозділі 2.3 проведені дослідження щодо розробки систем рекуперації гальмівної енергії автомобілів із застосуванням акумуляторних батарей та маховикових накопичувачів енергії. Серед перспективних напрямків у галузі енергозбереження варто виділити створення інноваційних ресор для автомобілів, які здатні перетворювати механічну енергію вертикальних коливань кузова в електричну енергію для екологічно безпечних накопичувачів.

3.5.1. Система рекуперації енергії транспортного засобу

Один із ключових шляхів підвищення енергоефективності гібридного транспортного засобу полягає у мінімізації витрат енергетичних ресурсів електричного накопичувача енергії. У цьому контексті вирішення задачі акумуляування потенційної енергії, яку можна відновити за допомогою рекуперації енергії вертикальних коливань підвіски автомобіля, набуває особливої актуальності. Серед джерел механічної енергії в системі "автомобіль – дорога" виділяється саме енергія вертикальних коливань кузова.

Ця енергія залежить від габаритно-масових характеристик транспортного засобу та типу дорожнього покриття, по якому він рухається.

Перетворення цієї механічної енергії, яка зазвичай безповоротно розсіюється в підвісці під час вертикальних коливань кузова, на електричну енергію відкриває можливість зберігати її в екологічно безпечному накопичувачі. Така енергія надалі може бути використана для живлення тягового електродвигуна.

З метою підвищення енергетичної ефективності та екологічності використання механічної енергії, що втрачається внаслідок вертикальних коливань кузова під час руху транспортного засобу, була створена система рекуперації енергії. У конструкцію підвіски цієї системи інтегровано демпфери з електромагнітними зв'язками, які перетворюють механічну енергію коливань кузова в електричну. Отримана електрична енергія використовується для заряджання тягової акумуляторної батареї, забезпечуючи ефективніше використання ресурсу транспортного засобу.

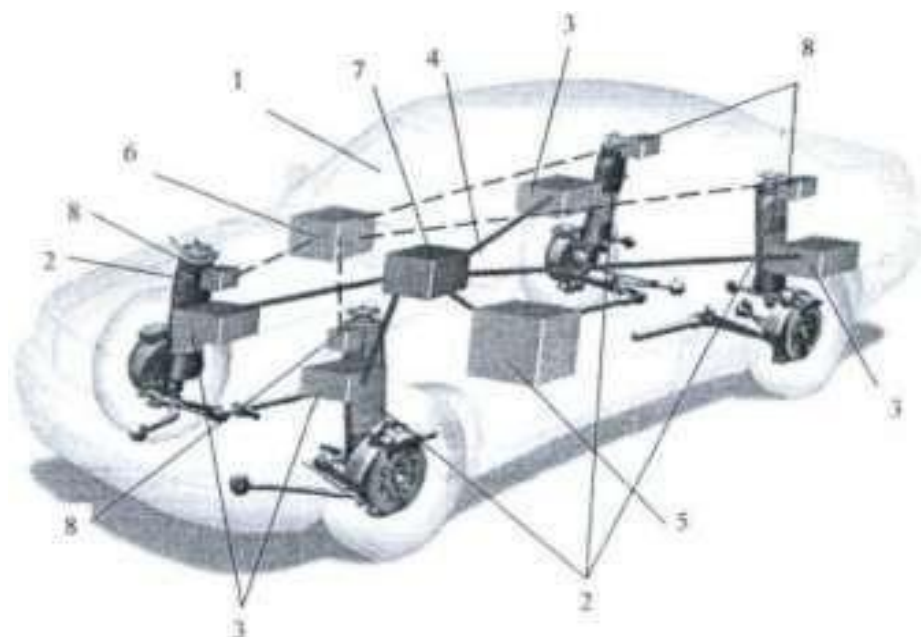


Рис. 3.4 – Система рекуперації вертикальних коливань корпусу автомобіля: 1 – підвіски опор; 2 – пружні елементи; 3 – електричні генератори (демпфери коливань); 4 – силові струмопроводи; 5 – накопичувач електричної енергії; 6 – блок керування; 7 – система контролю заряду; 8 – датчики коливань.

Завдання вирішується шляхом впровадження системи рекуперації енергії вертикальних коливань корпусу автомобіля через її перетворення на електричну енергію за допомогою лінійного генератора, який одночасно виконує функції демпфера з можливістю регулювання характеристик. Реалізація рекуперації відбувається наступним чином. Під час вертикальних коливань кузова автомобіля акселерометри (датчики коливань) генерують інформаційні сигнали, які надходять до блоку керування. Цей блок розраховує рівень кутових прискорень у поздовжній та поперечній площинах. На основі отриманих даних формується сигнал відповідної полярності, який передається до контролера обмотки збудження лінійного генератора. Генератор забезпечує демпфування вертикальних коливань кузова, одночасно перетворюючи механічну енергію на електричну і накопичуючи її для подальшого використання.

3.5.2. Внутрішня система заднього виду

Внутрішня система заднього виду є прикладом енергозберігаючих технологій у сфері автомобільного транспорту і може застосовуватись у транспортних засобах різного функціонального призначення.

Зони огляду в традиційних дзеркалах заднього виду визначаються розмірами оптичного елемента, його кривизною і розташуванням відносно водія. Мінімальні вимоги до цих зон встановлені державними та міжнародними стандартами і правилами (наприклад, ГОСТ Р 41.46-99, Правила ЄЕК ООН № 46).

Однак традиційне використання зовнішніх дзеркал заднього виду супроводжується певними недоліками, серед яких підвищений аеродинамічний опір, спричинений їх конструкцією. Аеродинамічний опір суттєво впливає на загальну ефективність руху транспортного засобу, особливо на високих швидкостях. Для прикладу, при русі зі швидкістю 40-50 км/год аеродинамічний опір становить близько 8%, на швидкості 80-90 км/год – уже 29%, а при швидкості 120-160 км/год – досягає 53%. При цьому

зовнішні дзеркала спричиняють близько 5-7% від загального аеродинамічного опору автомобіля. Крім того, звичайні дзеркала створюють так звану "мертву" зону, що обмежує огляд задньої області позаду транспортного засобу.

На сучасному етапі розвитку технологій у багатьох транспортних засобах використовуються центральні внутрішні дзеркала, оснащені функцією монітора з підключенням камер. Такі системи дають змогу усунути проблему "мертвих" зон, покращують видимість позаду автомобіля та пропонують додаткові переваги. Наприклад, вони дозволяють водію відслідковувати процеси навантаження та розвантаження, контроль посадки і висадки пасажирів, а також оцінювати простір при маневруванні під час руху заднім ходом. Цей набір функцій значно перевищує можливості традиційних дзеркал.

Разом із цими перевагами залишається проблема, пов'язана з аеродинамічним опором. Це негативно впливає на експлуатаційну ефективність транспортних засобів, включаючи витрати палива, екологічність і технічні характеристики.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати внутрішню систему заднього виду, яка замінює традиційні зовнішні дзеркала на камери заднього виду або системи кругового огляду в поєднанні з внутрішніми боковими моніторами. Ця конструкція дозволяє суттєво знизити аеродинамічний опір транспортного засобу без втрати функціональних можливостей.

Система працює таким чином: камери заднього виду або кругового огляду підключені до внутрішніх моніторів, які розташовані у салоні автомобіля. При цьому монітори знаходяться в зоні звичного для водія огляду, там, де зазвичай розташовувались зовнішні дзеркала. Це забезпечує не лише зручність використання, але й повну інтеграцію з дизайном автомобіля.

Внутрішні системи заднього виду або кругового огляду автомобіля мають більш широкі та гнучкі можливості, ніж звичайні дзеркала, вони забезпечують перегляд «мертвих» зон, зон виконання робіт і для рішення деяких інших завдань.

Інтеграція систем заднього огляду або кругового огляду автомобіля з бортовим відеореєстратором є доцільним рішенням для забезпечення відеофіксації зовнішнього середовища. Така комбінація може слугувати важливою доказовою базою під час аналізу порушень правил дорожнього руху, встановлення причин аварій та ідентифікації винуватців. Вона також сприяє оптимізації перевезень, зниженню їхньої вартості та підвищенню культури дорожнього руху. До того ж, використання цих внутрішніх систем дозволить виключити або звести до мінімуму можливість так званих «автопідстав».

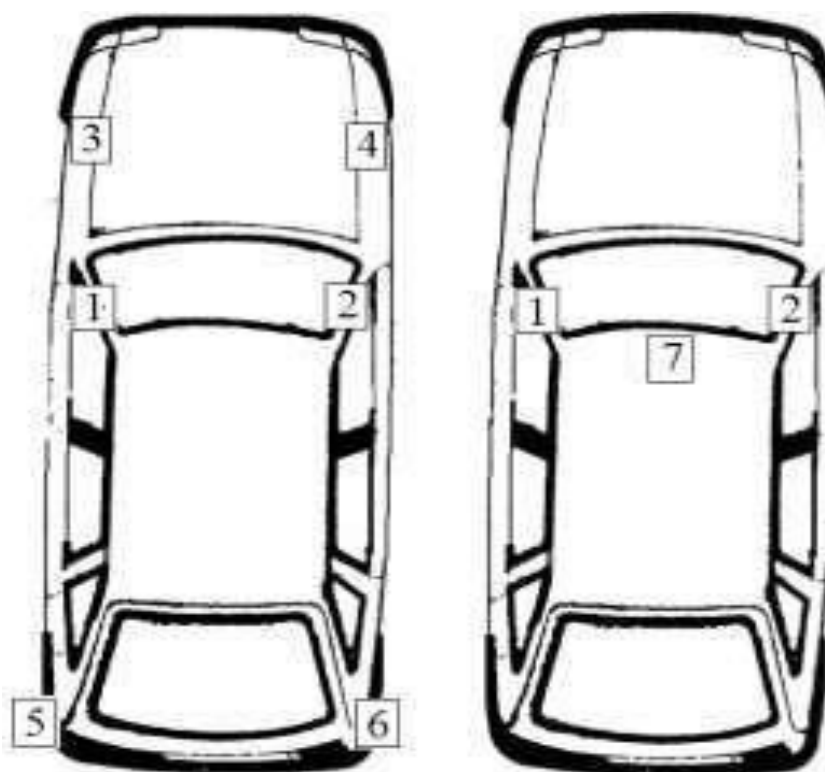


Рис. 3.5 – Приклади схем транспортного засобу з внутрішньою системою заднього виду: 1 – лівий монітор заднього виду; 2 – правий монітор заднього виду; 3 – передня ліва камера заднього виду; 4 – передня права камера заднього виду; 5 – задня ліва камера заднього виду; 6 – задня права камера заднього виду; 7 – камери кругового огляду

Дослідження свідчать, що подібні системи можуть бути інтегровані з інтелектуальними засобами активної безпеки транспортного засобу для ідентифікації потенційно небезпечних ситуацій. Вони також знаходять

застосування у складі навігаційних, сервісних систем, охоронних технологій та інших інноваційних інформаційних розробках. Важливо зазначити, що в умовах серійного виробництва вартість таких систем суттєво знижується порівняно із сучасними дзеркалами заднього виду.

Слід підкреслити, що бічні монітори для огляду заднього виду або системи кругового огляду доцільно впроваджувати в спеціалізованих сценаріях відповідно до функціонального призначення конкретного транспортного засобу. Наприклад, на будівельно-дорожній техніці раціонально застосовувати поворотні камери. Ці камери забезпечують спостереження за «мертвими» зонами під час руху автомобіля, а також контроль за робочою зоною при виконанні завдань.

Впровадження подібних технологій сприяє покращенню паливно-економічних, екологічних та експлуатаційних характеристик транспорту завдяки зниженню аеродинамічного опору. Одночасно підвищуються безпека і комфорт водія та пасажирів через використання інтегрованих внутрішніх систем заднього виду у поєднанні з іншими сучасними інформаційно-керуючими системами. Додатково зменшуються габарити автомобіля, мінімізується рівень шуму, покращується маневровість і курсова стійкість. Ці удосконалення комплексно забезпечують підвищення безпеки та комфорту в процесі експлуатації транспортного засобу. Максимальний ефект досягається при синергетичному застосуванні внутрішніх систем заднього виду чи кругового огляду разом з іншими інноваційними інформаційними системами автомобіля.

3.6. Висновки по розділу

Дослідження перспективних підходів до підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів свідчить про необхідність зосередження уваги на ключових напрямках вдосконалення транспортної інфраструктури. Зокрема, стратегічні пріоритети окреслюються такими напрямками:

- 1) підвищення екологічної стійкості шляхом інтеграції

енергозберігальних технологій, включно з генеруванням енергії безпосередньо на борту транспортного засобу;

2) забезпечення повноцінної інтеграції транспортних засобів у єдиний інформаційний простір задля поліпшення комунікаційних процесів;

3) підвищення безпеки транспортних систем шляхом упровадження інноваційних рішень.

Встановлено доцільність використання систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. Для умов міста Житомир розраховано приблизну кількість пікових сонячних годин (166,78) та обсяг енергії, який можна акумулювати через фотоелементи потужністю 250 Вт. За рік це становить понад 132 кВт·год, що дозволяє забезпечити пробіг автомобіля Toyota Prius на відстань близько 500 км.

Особливу увагу звернено до розробки та впровадження інтелектуальних транспортних систем для ефективного керування транспортними засобами. Серед таких систем розглянуто адаптивний круїз-контроль, де на прикладі використання штучних нейронних мереж було продемонстровано принцип його функціонування.

Доведено необхідність оснащення транспортних засобів сучасними бортовими реєстраторами для моніторингу основних параметрів роботи системи. Така технологія не лише покращує безпеку дорожнього руху, а й сприяє підвищенню комфорту та культури керування, завчасно інформуючи водія про стан вузлів і елементів автомобіля.

Окремо встановлено, що критичним фактором підвищення ефективності експлуатації гібридних транспортних засобів є зменшення енергетичних витрат та раціональне поповнення запасів енергії. Зокрема, відзначено перспективність застосування систем рекуперації енергії вертикальних коливань підвіски та впровадження внутрішніх камер заднього виду замість традиційних зовнішніх дзеркал.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження підтверджують, що перспективними напрямками підвищення ефективності використання гібридних транспортних засобів є кілька ключових аспектів. Перш за все, це поліпшення паливної економічності та екологічних характеристик через застосування енергоощадних силових установок і альтернативних джерел енергії, таких як фотоелектричні перетворювачі, системи рекуперації енергії підвіски, маховикові або конденсаторні накопичувачі енергії тощо. Важливою перспективою є також інтеграція транспортного засобу у єдиний інформаційний простір транспортних систем із використанням технологій штучного інтелекту, що сприяє удосконаленню рівня безпеки автомобілів і загальних систем.

2. Ефективність функціонування дорожніх транспортних засобів визначається низкою чинників, серед яких найважливішими виступають економічність та екологічність. Ці завдання можуть бути успішно вирішені шляхом розробки гібридних транспортних засобів. У контексті України слід зазначити, що такі автомобілі не виробляються серійно, що надає науковим дослідженням у цій галузі елемент новизни і високої практичної значущості.

3. Науково обґрунтовано, що одним із основних напрямків поліпшення експлуатаційної продуктивності транспортних засобів є зниження споживання пального та підвищення рівня екологічної безпеки через використання альтернативних джерел енергії. Це підходи, які забезпечують сталий розвиток транспортної галузі, відповідаючи сучасним вимогам щодо збереження довкілля.

4. Серед прикладів практичного застосування інновацій слід виділити розробку гібридної силової установки для автомобіля ЗАЗ Таврія Пікап на базі пневмоприводу і двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Експериментальні дослідження продемонстрували можливість використання силової установки на основі пневмодвигуна для розгону автомобіля до швидкості 5,55 м/с (20 км/год), що підтверджує її потенціал у даному сегменті.

5. Перспективи вдосконалення транспортного комплексу в цілому охоплюють такі напрямки: підвищення рівня екологічності завдяки впровадженню енергоощадних технологій та генерації енергії безпосередньо на борту транспортного засобу; інтеграція автомобілів у єдиний інформаційний простір для посилення взаємодії між різними транспортними системами; а також забезпечення більш високого рівня безпеки як для водіїв і пасажирів, так і для інших учасників дорожнього руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Viktor ANISIMOV, Vadym RYABOSHAPKA, Semjons IVANOV
CALCULATION OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF MACHINE AND
TRACTOR AGGREGATES USING BIOFUEL // JOURNAL of Research and
Applications in Agricultural Engineering; 61(3), Poznan: Przemysowy Instytut
Maszyn Rolniczych (PIMR), Branzowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i
Ekonomicznej, 2016. (Journal Article, ind Agri, Cabi). PP. 16 - 20.
2. Viktor ANISIMOV, Vadym RYABOSHAPKA MODELING OF
MACHINE-TRACTOR UNITS WORKFLOW ON THE USE OF BIOFUELS //
Materials international scientific conference [«Conserving soils and water»].
Burgas, Bulgaria. 2016. PP. 74 – 75.
3. Анісімов В. Ф. Дослідження характеристик дизельного двигуна
при переведенні його на біодизельне паливо / В. Ф. Анісімов, Л. П. Серeda, В.
Б. Рябошапка, А. А. Пясецкий // Матеріали міжнародної науково – технічної
конференції 24-26 березня 2010 р.
4. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В.
Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двaдненко. Х.: ХНАДУ, 2011. 236
с.
5. Смирнов О.П. Тенденція створення екологічно чистого
транспортного засобу / О.П. Смирнов // Автомобільний транспорт. 2005. № 17.
С. 103–105.
6. Бажинов А.В. Концепція створення екологічно чистого автомобіля/
А.В. Бажинов, О.П. Смирнов // Вісник Східноукраїнського національного
університету імені Володимира Даля. 2006. № 7. С. 15–19.
7. Смирнов О.П. Математичне моделювання тягово-швидкісних
характери- тик гібридного автомобіля / О.П. Смирнов, В.С. Боженів // Збірник
наукових праць Харківського університету повітряних сил. 2006. № 2(8). С. 46–
49.
8. Смирнов О.П. Синергетичний підхід до створення силової

установки автомобіля / О.П. Смирнов // Вісник ХНАДУ. 2007. № 37. С. 131–133.

9. Вихідні дані, технічна характеристика машин та умови їх використання / Кондратюк Д.Г., Холодюк О.В., Григоришен В.М. – Вінниця: ВНАУ, 2014. 73 с.

10. Анісімов В. Ф. Теоретичне дослідження параметрів сумішоутворення в дизелі при роботі на біопаливі методом малих відхилень параметрів / В. Ф. Анісімов, В. Г. Семенов, В. Б. Рябошапка // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, Серія: Технічні науки, №10 т. 1 (58), Вінниця, 2012. С. 6-10.

11. Бороденко Ю.М. Система керування гібридною силовою установкою з пневмодвигуном / Ю.М. Бороденко, С.А. Серіков, О.П. Смирнов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту «ДонНТУ». 2008. №1(6). С. 32–38.

12. Смирнов О.П. Алгоритм роботи системи керування автоматизованими коробками передач автомобілів / О.П. Смирнов, Г.К. Кальянов, В.Г. Кубата // Автомобільний транспорт. 2009. № 25. С. 33-36.

13. Бажинов А.В. Розробка екологічно чистих автотранспортних засобів / А.В. Бажинов, О.П. Смирнов, В.Я. Двадненко, М. Хаким // – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2012. № 128 С. 138–142.

14. Sitnik, L.J. New ecofuel for diesel engines, Journal of POLISH CIMAC, Science publication of Editorial Advisory Board of POLISH CIMAC. Gdansk, 2009. Pp. 155–159.

15. Bereczky, A. Influence of higher alcohols on the emissions of diesel engine operated with rape seed oil [Електронне видання] / Akos Bereczky, Tamas Laza. Режим доступу: http://www.combustion.org.uk/ECM_2009/P811423.pdf. Дата доступу: 03.05.2011.

16. Анісімов В. Ф. Дослідження впливу кута випередження подачі на експлуатаційні показники роботи дизеля при переведенні його на біодизельне паливо / В. Ф. Анісімов, Л. П. Серeda, В. Б. Рябошапка, А. А. П'ясецький//

Промислова гідравліка і пневматика, №2(20) 2008. 7 с.

17. Комаха В.П. Дослідження взаємозв'язку ефективних показників двигуна та тягових характеристик трактора з використанням біодизельного палива на основі тягово-потужнісного балансу / В.П. Комаха, В.Б. Рябошапка // Техніка, енергетика, транспорт АПК. №3 (95). Вінниця. 2016. С. 193 – 198.

18. Смирнов О.П. Енергозберігаючі технології на транспорті на базі фотоелектричних перетворювачів / О.П. Смирнов // Вісник ХНАДУ. 2012. № 56. С. 94–97.

19. Смирнов О.П. Перспективні напрями розвитку сучасного автомобілебудування / О.П. Смирнов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. Х.: НТУ «ХПІ». 2014. № 9 (1052). С. 61–65.

20. Smyrnov O. Especially security systems electric and hybrid cars [Електронний ресурс] / O. Smyrnov, S. Poyda // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. 2014. № 6. С. 44–47. ISSN 2226-9266. Режим доступу до джерела: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/14sopehc.pdf.

21. Booil production from an oilseed crop: Fixed-bed pyrolysis of rapeseed (Brassica napus L) / Sensoz Sevgi, AnginDilek, Yorgum Sait, Koskar Omer Mete//Energy Sources: Jornal of Extraction, Conversion and the Environment. 2000. V.22. №10. P.891 – 899.

22. Labeckas, G. Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil [Текст] / G. Labeckas, S. Slavinskas // Renewable Energy. 2006. N 31. P. 849–863.

23. Wachtmeister, G. 2nd VegOil Demonstration of 2nd Generation Vegetable Oil Fuels in Advanced Engines / G. Wachtmeister, A. Hubert // Workpackage WP2 Engine development Deliverable N° 2.10: Results of basis measurements with 2nd generation vegetable oil. 2010. 26 с.

24. Яцковський В.І., Гунько І.В., Гуцаленко О.В. Сучасні методи

розрахунків ДВЗ. Вінниця, Монографія, РВВ ВНАУ, 2016. - с.

25. Smyrnov O. Experimental research of power characteristics car TOYOTAPrius in the mode electromobile [Електронний ресурс] / O. Smyrnov, S. Klymenko // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. 2014. № 6. С. 94–96. ISSN 2226-9266. Режим доступу до джерела: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/14soptme.pdf.

26. Smyrnov O. Principles of construction hybrid power installations [Електронний ресурс] / O. Smyrnov, S. Klymenko // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. 2015. № 8. С. 27–30. ISSN 2226-9266 Режим доступу до джерела: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE15_2/2015-8-1.5.pdf.

27. Смирнов О.П. Застосування штучного інтелекту в транспортних системах [Електронний ресурс] / О.П. Смирнов, А.А. Тропина // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. 2013. № 5. С. 34–37. ISSN 2226-9266. Режим доступу до джерела: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE13_2/13sopits.pdf.

28. Dorado, M.P. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance / M.P. Dorado, J.M. Arnal, J. Gomez, A. Gil, F.J. Lopez // Trans. ASAE. St.Joseph (Mich.). 2002. Vol.45. N 3. P. 519-523

29. Смирнов О.П. Мехатроніка и ергономіка в дослідженні проблем аналізу та синтезу людино-машинних систем / О.П. Смирнов // Вісник ХГАДТУ. 2000. № 12, 13. С. 202–205.

30. Смирнов О.П. Принципи інформаційно-енергетичної взаємодії об'єктів / О.П. Смирнов // Проблеми створення нових машин и технологій. Наукові праці КГПУ. 2000 (9). № 2. С. 304–307.

31. Смирнов О.П. Системний аналіз WEB-навчання в вузі автомобільного профіля / О.П. Смирнов, С.Н. Неронов // Вісник ХНАДУ. 2005. № 29. С. 17-19.

32. Бажинов О.В. Науково-практичний комплекс підготовки фахівців з

розроблення та ремонту гібридних автомобілів / О.В. Бажинов, Ю.В. Батигін, О.П. Смирнов // Новий колегіум. 2014. № 4(78). С. 27–29.

33. Пат. 49349 Україна, (51) МПК (2009) В60К 5/00. Гібридний автомобіль з мехатронним накопичувачем енергії / Бажинов О.В., Смирнов О.П.; заявник та власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № у 2009 11647 заявл. 16.11.09; опубл. 26.04.10, Бюл.

№8, 2010 р.

34. Калетнік Г.М., Пришляк В.М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: Навч. посіб. К.: Хай-Тек Прес, 2010. 312 с.

35. Пат. 49346 Україна, (51) МПК (2009) В60К 5/00. Електромобіль з мехатронним накопичувачем енергії / Бажинов О.В., Смирнов О.П.; заявник та власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № у 2009 11642 заявл. 16.11.09; опубл. 26.04.10, Бюл. №8, 2010 р.

36. Пат. 84028 Україна, (51) МПК (2013.01) В60К 6/00. Система рекуперації енергії автотранспортного засобу / Азаров О.В., Серіков Г.С., Серікова І.О., Смирнов О.П.; заявник та власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № у 2013 03980 заявл. 01.04.13; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19, 10.10.2013.

37. Пат. 97651 Україна, (51) МПК (2015.01) В60К 6/00. Автомобільне дверневікно з москітною сіткою / Смирнов О.П., Борисенко А.О.; заявник та власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № у 2014 11460 заявл. 21.10.14; опубл. 25.03.15, Бюл. № 6, 25.03.2015.

38. Пат. 97652 Україна, (51) МПК (2015.01) В60К 6/00. Автомобіль з внутрішньою системою заднього виду / Смирнов О.П., Борисенко А.О.; заявник та власник патенту Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № у 2014 11461 заявл. 21.10.14; опубл. 25.03.15, Бюл. № 6, 25.03.2015.

39. Смирнов О.П. Перспективи розвитку систем електроживлення

транспортних засобів / О.П. Смирнов // Транспорт, екологія – будова розвиток: XIV науково-технічна конференція с міжнародною участю, 8-10 травня 2008 р. Варна. Болгарія, 2008. С. 295–301.

40. Калетнік Г.М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. Вісник аграрної науки. 2009. № 8. С.62-64

41. Організація і економіка використання біоресурсів: підручник / Г.М. Калетнік, О.П. Скорук, Д.М. Токарчук. – Вінниця: ВНАУ, 2018. 297с.

42. Альтернативна енергетика України: особливості функціонування і перспективи розвитку : монографія / Г.М. Калетнік, С.Т. Олійнічук, О.П. Скорук, О.В. Климчук, В.І. Яцковський, Д.М. Токарчук, І.А. Здор; [за ред. Г.М. Калетніка]. Вінниця: Едельвейс і К, 2012. 255 с.