

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: «Підвищення експлуатаційної ефективності вантажних автомобілів завдяки використанню альтернативних видів палива»

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-61  
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Ільїн Олег Олегович

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2022

УДК 656.075

Ільїн Олег Олегович «Підвищення експлуатаційної ефективності вантажних автомобілів завдяки використанню альтернативних видів палива».  
// Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2022. 91 с.

Проведено статистичний аналіз загальної кількості, структури та віку транспортних парків різних держав. Наведено питомі показники рівня забезпеченості автомобілями на душу населення. Проаналізовано затрати ресурсів та енергії, безпосередній та опосередкований негативний вплив автомобілів на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу, досліджено альтернативні технології генерування та зберігання потенційної тягової енергії автомобілями.

Здійснено аналіз енергетичної ефективності різних технологій та реалізації альтернативних силових установок автомобілів, наведено фізичні та хімічні характеристики горючих паливних сумішей.

Проведено моделювання щодо покращення параметрів паливно-повітряної суміші за рахунок запропонованої конструкції генератора водневої газової суміші. Результати досліджень свідчать, що додавання водню до повітря у впускному тракті забезпечує прямопропорційне зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газів.

Економічний ефект від використання генератора водню досягається завдяки його фізико-хімічними властивостям - питомій теплоті згоряння водню, що становить близька 29100 кКал, тоді як, дизелю – 10200 кКал.

Табл. 6; рис. 32; бібліогр. джерел 37.

## ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
	РОЗДІЛ 1.	
	СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	13
1.1.	Аналіз структури автомобільних транспортних засобів у світі та Україні.....	13
1.2.	Вплив виробництва автомобільних транспортних засобів на навколишнє середовище.....	20
1.3.	Використання природних ресурсів під час виробництва автомобільних транспортних засобів.....	22
1.4.	Акустичне забруднення навколишнього середовища автомобілями.....	25
1.5.	Використання земельних ресурсів та угідь.....	26
1.6.	Екологічні аспекти утилізації автомобілів.....	26
1.7.	Альтернативні силові агрегати автомобілів.....	28
	Висновки до розділу 1.....	34
	РОЗДІЛ 2.	
	ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПРИВОДІВ ТА ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	35
2.1.	Аналіз енергетичних потоків альтернативних силових агрегатів автомобілів.....	35
2.2.	Основні характеристики альтернативних видів палива для використання автомобілями.....	46
	Висновки до розділу 2.....	52
	РОЗДІЛ 3.	
	ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ДОДАТКОВОЇ ПОДАЧІ ВОДНЕВОЇ ГАЗОВОЇ СУМІШІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА	53
3.1.	Методика проведення досліджень.....	53
	Висновки до розділу 3.....	64
	РОЗДІЛ 4.	
	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	65
4.1.	Результати дослідження експлуатаційних параметрів термоелектричного модуля.....	65
4.2.	Результати дослідження екологічної ефективності застосування запропонованої системи додавання водневмісного газу до ДВЗ.....	68
	Висновки до розділу 4.....	71
	РОЗДІЛ 5.	
	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	72
5.1.	Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників на автомобільному транспорті.....	72

	Заходи щодо підвищення пожежної безпеки автотранспортних підприємств.....	75
5.3.	Розрахунок захисного заземлення діляниць автотранспортного підприємства.....	76
	Висновки до розділу 5.....	78
	РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ.....	79
6.1.	Розрахунок техніко-економічних показників автомобіля під час його експлуатації на різних видах альтернативних палив....	79
	Висновки до розділу 6.....	85
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	86
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Транспортна галузь, будучи однією із найбільших вагомих факторів впливу на зміну клімату, включаючи транспорт і приватне автомобілебудування посилює проблеми зміни клімату, викидів CO<sub>2</sub> та загальне виснаження природних ресурсів.

Діяльність людини та використання автомобілів на традиційному паливі мають вагоме значення й вплив на численні екологічні проблеми. Для зменшення негативного впливу, найбільш перспективною альтернативою є еко-інноваційний електромобілі. Підтримка інновацій розвитку у провідних країнах світу забезпечує амбітну політику національних урядів щодо дослідження та розробки, субсидіювання виробництва й придбання електромобілів. Також гарантується клієнтам повністю електричних автомобілів звільнення від екологічного податку протягом десяти років. Однак ці стимули виявляються недостатніми, оскільки політичні цілі далекі від декларованих досягнень. Зокрема, за прогнозами, на дорогах Німеччини у 2020 р. повинно експлуатуватись близько 1,5 мільйона повністю електричних автомобілів, однак кон'юнктура ринку не є настільки сприятливою для швидкого переходу на електромобілі [1], [2], [3], [7].

Для того щоб зробити екологічну інновацію конкурентоспроможною на ринку, поточна ситуація вимагає ґрунтовного аналізу з багаторівневої точки зору та розуміння інтересів усіх зацікавлених сторін для виявлення стану розвитку інновації та їх подальшого удосконалення.

Електричний автомобіль визначається як розробка найбільш технологічної ніші, яка потребує подальшого розвитку до того, як він зможе досягти відповідної зрілості, щоб вийти на автомобільний ринок як повноцінна конкурентна альтернатива для традиційних автомобілів. У цьому процесі розвитку автомобільні компанії та клієнти визначені, як зацікавлені сторони, які мають найбільший потенційний вплив на швидкість становлення інновацій у майбутньому.

Маючи на меті подальше з'ясування різних проблем, що перешкоджають розвитку електротранспорту розуміють актуальність трансформації цього сектору для вирішення екологічних проблем, таких як зменшення природних ресурсів і збільшення викидів CO<sub>2</sub>. Але потенційні клієнти розуміють останні виклики щодо впровадження інновації, які пов'язані з обмеженою технологічною зрілістю, включаючи акумуляторні батареї, їх діапазон ємності, швидкості зарядки, щільності відповідної зарядної інфраструктури, високих цін на продукцію та національну політику підтримки. Дуже часто пересічні користувачі роблять висновок про те, що еко-інноваційний електромобіль ще не готовий вийти на масовий ринок і представити конкурентоспроможну альтернативу для потреб клієнтів, враховуючи вищезазначені обмеження.

Іншим аспектом, який спонукає до пошуку альтернатив є спричинені людиною значні зміни клімату, що вимагає в автовиробників покласти край виробництву дизельним вантажівкам [10-12], [15-17], [34].

Вантажні перевезення знаходяться на порозі кардинальної трансформації, оскільки міжурядова група експертів зі зміни клімату попереджає, що глобальна мережа антропогенних викидів CO<sub>2</sub> повинна скоротитися вдвічі до 2035 року порівняно з теперішнім рівнем і досягти нульових значень до 2050 року, щоб обмежити негативний вплив на навколишнє середовище.

Транспортна галузь є однією із найбільших джерел парникових газів викидів в усьому світі, але залишається особливо складною для розв'язання даної ситуації. Це потребуватиме докорінних змін для переміщення людей і вантажів, переходу на паливо з низьким вмістом вуглецю, підвищення енергоефективності завдяки розвитку технологій. Особливу роль відіграватиме трансформація вантажного транспорту у вирішенні кліматичних цілей, оскільки даний вид діяльності здійснює найбільший внесок у транспортні викиди.

Вченими встановлено, що у 2019 році великовагова техніка здійснює близько 25% викидів CO<sub>2</sub> в Європі автомобільним транспортом та 6% загальних європейських викидів CO<sub>2</sub> [4], [5].

Діяльність важкого транспорту та кількість транспортних засобів зростатиме й надалі разом із викидами через зростання економічної активності, міжнародної торгівлі та розширення електронної комерції, вимагає реакції вже сьогодні.

До цього часу діяли правила щодо скорочення викидів парникових газів і забруднення повітря переважно спрямовані на пасажирські транспортні засоби більше, ніж на великовантажні транспортні засоби, хоча вони представляють основну частку попиту на нафту та викидів CO<sub>2</sub>. Стандарти щодо обмеження викидів CO<sub>2</sub> поступово вводяться й набирає чинності для великовантажних автомобілів. (IEA, 2020a). Але політичних дій недостатньо, тому виробники повинні адаптувати свою стратегію зараз, щоб стати стійкими до майбутньому [19], [20].

Транспортні засоби великої вантажопідйомності відіграють важливу роль у ланцюжку постачання організацій, доставляючи всі види товарів від пунктів виробництва до місць виробництва і до їх остаточного продажу.

Впливовими факторами зниження негативних впливів є використання альтернативних видів палива та силові агрегати для великовантажних автомобілів.

Електричні вантажівки на водневих паливних елементах є найбільш перспективними заміниками традиційних силових установок й представляють вищий потенціал, ніж біопаливо та природний газ, для глибокої декарбонізації транспорту в довгостроковій перспективі. Крім того, електрифіковані силові агрегати призводять до нульових викидів, значною мірою сприяючи скороченню місцевих викидів парникових газів і забруднюючих речовини в повітря.

Однак залежно від первинних ресурсів, які використовуються на початку виробничого шляху, глобальні викиди сильно відрізняються, тому

необхідно оцінити екологічні показники не лише з точки зору «енергоефективності» та «викиди парникових газів» для електричних вантажівок з акумуляторами та електричних вантажівок на водневих паливних елементах. Також необхідно визначити їх потенційну потужність, продуктивність та запас ходу.

Обидва варіанти порівнюються зі звичайними дизельними вантажівками, щоб глибше оцінити їхній потенціал щодо зменшення викидів. Екологічні показники базуються на аналізі життєвого циклу палива, починаючи з видобутку первинної енергії джерело до споживання кінцевого палива в транспортному засобі.

Аналіз життєвого циклу енергетичних об'єктів є важливим, оскільки він повинен враховувати не лише потенційну енергію та викиди, пов'язані з будівництвом об'єктів і транспортних засобів або аспектів завершення терміну експлуатації. Таким чином, витрати та викиди парникових газів під час виробництва, транспортування, розповсюдження та споживання палива в транспортному засобі. Рішення, яке веде до найкращих екологічних показників, повинні враховувати, оскільки як вибір первинного джерела енергії, так і ефективність трансформації енергії можуть сильно впливати на отримані результати.

В даному аспекті водень розглядається як енергетичний фаворит, що підтримує належний перехід до чистої енергії. Воднева технологія відіграє ключову роль у декарбонізації автомобільного вантажного транспорту, оскільки електроенергію та водень можна виробляти з багатьох різних первинних джерел енергії, таких як атомна енергетика, відновлювані джерела енергії або природний газ, необхідно оцінити які шляхи вимагають менше енергії та виробляють менше викидів парникових газів. Однак дослідники мають з'ясувати, чи дає використання енергоносіїв якусь перевагу, якщо це первинне джерело не вуглецево-нейтральне та чи зможе технологія уловлювання вуглецю компенсувати викиди від водню на основі викопного палива [1], [2], [11].



Хоча екологічним аспектом більше не можна нехтувати, коли компанії вирішать перейти від дизельних звичайних вантажівок до електрифікованих вантажівок, компроміси не можуть бути включати вуглецеві викиди. Дійсно, потрібно розглянути інші аспекти, наприклад робочий діапазон, час підзарядки-заправки, обмеження корисного навантаження, доступна інфраструктура, і витрати. Щоб зрозуміти відповідальність компаній у цьому переході, обговорюється зв'язок між транспортними засобами великої вантажопідйомності та викидами компаній у ланцюзі поставок. Потім, переглядаються різні важелі для зменшення впливу великовантажних транспортних засобів, висуваються вперед рішення переходу на альтернативне паливо та силові агрегати. Різний потенціал представлених альтернативних джерел енергії, а потім вибір аналізу електрифікованих силових агрегатів дає зрозуміння пошуку оптимальних шляхів виробництва дизеля, електрики та водню для забезпечення належної продуктивності дизельних, акумуляторних електричних і водневих вантажівок в перспективі.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є обґрунтування ефективності застосування альтернативних видів палива традиційними двигунами внутрішнього згоряння для зменшення рівня токсичності відпрацьованих газів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати рівень впливу ТЗ на забруднення навколишнього середовища;
- дослідити стан і структуру автомобільних парків та їх кількість на душу населення
- дослідити наявні альтернативні технології генерування енергії та забезпечення силових приводів автомобілів;
- розробити модель системи додаткової подачі водневої газової суміші у впускну систему ДВЗ.

**Об'єкт дослідження** – екологічні показники транспортних засобів з ДВЗ.

**Предмет дослідження** – вплив водневмісного газу системи живлення ДВЗ транспортних засобів на покращення їх екологічних показників.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проводились з використанням методів математичного аналізу, математичної статистики та теорії ймовірностей.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Набуло подальшого розвитку уявлення про вплив водневмісного газу до системи живлення ДВЗ ТЗ на зменшення забруднення атмосферного повітря.

Особистий внесок здобувача. Робота виконувалася дипломником самостійно. Науковим керівником узагальнено загальні висновки, об'єкт та предмет досліджень.

## РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Аналіз структури автомобільних транспортних засобів у світі та Україні

З огляду на те, що так багато країн запроваджують якісну інфраструктуру громадського транспорту, більшість людей, які мають такий вибір, можуть вибрати замість власного автомобіля. Особливо це стосується тих, хто живе у великих містах з кращим транспортним зв'язком, що дозволяє уникнути розчарування, пов'язаного з паркуванням і транспортом. З іншого боку, багато країн живуть у бідності, де володіння автомобілем є розкішшю. Для деяких володіння автомобілем – це статусні витрати, які не мають сенсу в плані необхідності або просто не можуть собі дозволити [6-8], [11], [14].

Станом на в світі 2022 рік існує близько 1,446 мільярда автомобілів, а це 17,9% людей, які мають автомобіль. Це неймовірно велика кількість транспортних засобів, що значно ускладнює дорожній рух та мобільність у містах (рис. 1.1).

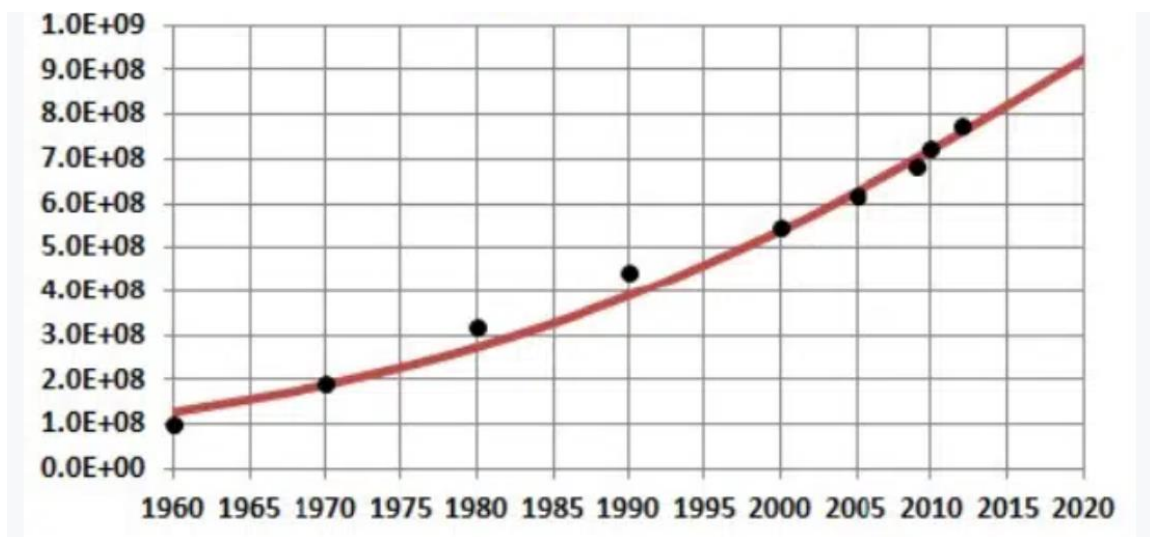


Рисунок 1.1 – Загальна кількість автомобілів у світі

Якщо проаналізувати на статистику за останні 60 років, зростання виробництва транспортних засобів є приголомшливим. Стрімка динаміка останніх десятиліть змінилась у 2019-2021 роках через пандемію COVID-19.

Згодом у 2021 році знову прискорились продажі автомобілів і тенденція, неухильно зростає.

Іншим стримуючим фактором є значний напівпровідників та електронних компонентів в світі. Такий дефіцит спровокований потужним оснащенням електронними системами та мультимедійним обладнанням та системами комфорту й безпеки [10].

Загалом скільки цього року було випущено значну кількість автомобілів, значна частина яких підпадає під нові високі екологічні стандарти, а також гібридні і повністю електричні автомобілі.

З точки зору статистики, Китай випускає набагато більшу кількість автомобілів, ніж решта країн світу – загальний обсяг виробництва сягає мільйонів автомобілів на рік. Наступна країна в рейтингу США з 267 мільйонами автомобілів на рік.

Найбільш інформативним показником рівня розвитку країн залишається кількість автомобілів на душу населення. Простіше кажучи, скільки автомобілів припадає на 1 або 1000 громадян, що дає змогу порівняти країни світу за питомими показниками. Так, наприклад, США мають 0,9 автомобіля на людину, тоді як Нова Зеландія має 0,88. Тоді як у країнах Центральної Африки найменше автомобілів на душу населення 0,0038 або ж приблизно 4 автомобілі на 1000 людей, наступним по наростаючому рейтингу за найнижчим показником є Пакистан з показником 20 автомобілів на 1000 осіб.

Серед усіх світових виробників перше місце займає Toyota, яка в 2021 році випустила понад 10 080 000. За даними best-selling-cars.com, автомобілів Volkswagen посідає друге місце за 2021 рік з 8 931 000 проданих автомобілів. Однак варто відмітити, що навідріз від Toyota Volkswagen – великий концерн, який поглину такі компанії як Audi, ŠKODA, SEAT, Porsche та інші.

Наступним логічним запитанням є врахування кількості автомобілів, що випускаються, експлуатуються та знищуються щороку. За оцінками експертів тільки в США щороку знищується близько 12 мільйонів автомобілів, що на 5

мільйонів автомобілів більше, ніж знищується. Тоді як в усьому Європейському Союзі щороку знищується близько 8,5 мільйонів автомобілів.

У випуску звіту АСЕА «Використовувані транспортні засоби» за 2022 рік міститься розгорнутий аналітичний звіт структури автомобільного парку на дорогах Європейського Союзу, включаючи легкові автомобілі, легкі комерційні транспортні засоби, середні та важкі комерційні транспортні засоби та автобуси [1-3], [11].

Звіт про транспортні засоби, що експлуатуються на дорогах, показує кількість транспортних засобів, за кожним із типів автомобілів та як розвивалась галузь протягом останніх десятиліть. Він також надає цінну інформацію щодо сегментів транспортних засобів для кожної європейської країни, наприклад середній вік (а також рік першої реєстрації), частку автомобілів за кожним типом палива та кількість транспортних засобів на 1000 жителів.

Це видання надає звіт в розрізі 27 держав-членів Європейського Союзу, а також країни ЄАВТ (Ісландію, Норвегію та Швейцарію), а також Туреччину та Великобританію.

Загальний розмір автопарку у 2020 році парк легкових автомобілів ЄС зріс на 1,189 % порівняно з 2019 роком, а загалом на дорогах було ЄС експлуатується 244 мільйона автомобілів. При цьому найбільше зростання спостерігається в країнах, що динамічно розвиваються (Румунії - +5,5%, Словаччині - +5,2%), у той час як автопарк розвинених країн дещо скоротився (Франції - - 0,289 %, Італії - -0,17%).

Аналогічна ситуація спостерігається з комерційним транспортом - понад 30 мільйонів фургонів знаходяться в обігу по всьому Європейському Союзі, з яких майже половина знаходиться лише в трьох країнах: Франції (7,1 мільйона фургонів), Італії (6,2 мільйона) та Іспанії (4,2 мільйона).

На дорогах ЄС знаходиться понад 7 мільйонів середніх і важких комерційних транспортних засобів, що на 1,8 % більше, порівняно з 2019 році.

Як не дивно, найбільше комерційного транспорту перебуває на території Польщі - приблизно 1,2 мільйона вантажівок, хоча автопром даної країни не є провідним в Європейському Союзі.

У Європейському Союзі експлуатується 685 000 автобусів, майже половину з яких можна знайти лише в трьох країнах: Польщі (125 000), Італії (100 000) та Франції (95 000).

Середній вік Автомобілів в ЄС зараз в середньому становить 11,9 років. Литва, Латвія, Естонія та Румунія мають найстаріші автопарки, їм, приблизно 16...17 років, тоді як найновіші легкові автомобілі експлуатують в Люксембурзі - 6,5 років.

Приблизно однаковий середній вік легких комерційних автомобілів в ЄС й становить 12 років. Із чотирьох основних ринків збуту ЄС Італія володіє найстарішим парком легких мікроавтобусів, їх середній вік становить 13,9 років), більш новіші автомобілі експлуатують в Іспанії - 13,4 років.

Дещо гірша ситуація з важким комерційним транспортом, середній вік вантажівок у Європейському Союзі складає приблизно 14 років. Греція володіє найстарішим парк вантажівок, їх середній вік складає 21,5 років, тоді як найновіші вантажівки експлуатуються в Люксембурзі та Австрії - 6,8...6,9 відповідно [15-18], [11].

Автобуси на дорогах ЄС, дещо поступаються за віком легковим автомобілям й становить в середньому 12,9 років. найгірша ситуація в Греції, в цій країні їздять автобуси з середнім віком понад 19 років. При чому лише шість країн Європейського Союзу мають автобусний парк менше 10 років.

Розподіл автопарку за типом палива за останні роки виглядає наступним чином. Незважаючи на значне зростання продажів за останні роки, легкові автомобілі з альтернативним силовими агрегатами за трендом перебувають на попередньому рівні й все ще становлять близько 5,5% від загального автопарку ЄС. Акумуляторні електромобілі та гібриди, що підключаються до електромережі, становлять лише 0,6% та 0,7% автопарку відповідно, тоді як

1,2 % усіх автомобілів на дорогах ЄС володіють гібридними силовими агрегатами.

В сегменті легких комерційних транспортних засобів дизельні агрегати все ще домінують у всіх країнах ЄС, за винятком Греції, загалом його структура наступна: 92 % парку фургонів ЄС працюють на дизельному паливі, і лише 0,4% фургонів у ЄС акумуляторні електромобілі та гібриди.

Щодо важких вантажівок, то 97,1 % усіх засобів у Європейському Союзі працюють на дизельному паливі, тоді як на бензині працює менше 1% автопарку. Серед них 0,25 % вантажівок на дорогах ЄС володіють силовими агрегатами з нульовим рівнем викидів, порівняно з 0,038 % у 2018 році й демонструє позитивну динаміку.

На дизельні автобуси припадає 94,1 % автопарку ЄС, лише 1 % – це акумуляторні електричні силові установки, а 1,5% – гібридні електричні. При цьому в декотрих країнах даний показник є досить високим. Наприклад значна частка електробусів знаходиться в Нідерландах - 12,4 %, Люксембурзі - 6,5 %, Данії – приблизно 5 %.

Питомі показники моторизації у Європейському Союзі знаходяться на досить високому рівні. В середньому на 1000 жителів припадає 558 легкових автомобілів і 82 комерційних транспортних засобів.

Найвищі показники в країнах Бенілюксу: Люксембург має найвищу щільність автомобілів в ЄС (698/1000 осіб), далі знаходиться Італія (667/1000 осіб). Тоді як найнижча щільність як легкових автомобілів 342/1000 осіб, так і комерційних транспортних засобів - 38/1000 осіб спостерігається в Латвії .

У Латвії майже 42 % усіх родин взагалі не мають автомобіля, тоді як майже 32% французьких та італійських сімей мають два легкові автомобілі.

Транспорт є вагомою складовою інфраструктури, що формує експортний потенціал України. Автомобільні транспортні засоби забезпечують найвищу гнучкість, доступність, мобільність поставок задовільняючи потреби громадян та належну конкуренцію ланцюгів постачань.

Поряд з тим автомобільні транспортні засоби - один із визначальних факторів негативного антропогенного впливу на довкілля. Деякі види цього впливу, насамперед забруднення повітря і посилення шуму, вібрацій, забруднення ґрантів, вод експлуатаційними матеріалами та продуктами утилізації автомобілів належать до найбільш вагомих техногенних навантажень на екосистеми. Однак найскладніша ситуація спостерігається в умовах концентрації поселень людей, об'єктів промисловості, шкідливих виробництв, тощо. Незважаючи на значну зручність проживання у великих містах, саме в них відбувається найбільша концентрація негативних компонентів довкілля, а особливо великих міст [12], [31].

Постійно зростаючі екологічні проблеми, виникають не лише у зв'язку з функціонуванням транспортної системи України, але як наслідок нераціонального планування та експлуатації наявної структури автомобільного парку. Значний вплив мають використання застарілих технологій, конструкції транспортних засобів, їх зношеність, якість обслуговування, щільність дорожньої мережі та якість дорожнього покриття

Як було вказано вище, у світі налічується в експлуатації близько 1 мільярда автомобільних транспортних засобів. Тоді як в Україні активно використовують понад 1,1 млн. вантажних автомобілів та понад 3 млн. легкових пасажирських автомобілів (рис. 1.1).



Рисунок 2.1 – Структура автомобільного парку в Україні



Автомобільний транспорт забезпечує сталий економічний розвиток людства, поряд з тим спричиняє деградацію навколишнього середовища як джерело забруднення атмосфери. Більше, ніж 70% вантажів, особливо, якщо це стосується адресної доставки та логістики останньої милі, а також понад 80% пасажирських перевезень здійснюють автомобільним транспортом. Через велику кількість та щільність населення, концентрація автотранспорту у містах є досить значною. У загальній структурі шкідливих викидів в атмосферу великих міст вихлопні гази займають 91% усіх забруднювачів атмосфери в Ужгороді; 88% - Полтаві, тоді як у Києві лише 75%, оскільки дане місто є значним промисловим центром й виробництво забезпечує майже чверть від усіх шкідливих викидів (рис. 1.3) [31]. Дослідниками встановлено, що узбіччя основних доріг і трас автотрас шириною до 100 м забруднені свинцем, кадмієм, нікелем, міддю, цинком ґрунти та рослини, а їх концентрація перевищує допустимі норми в 3-18 разів.

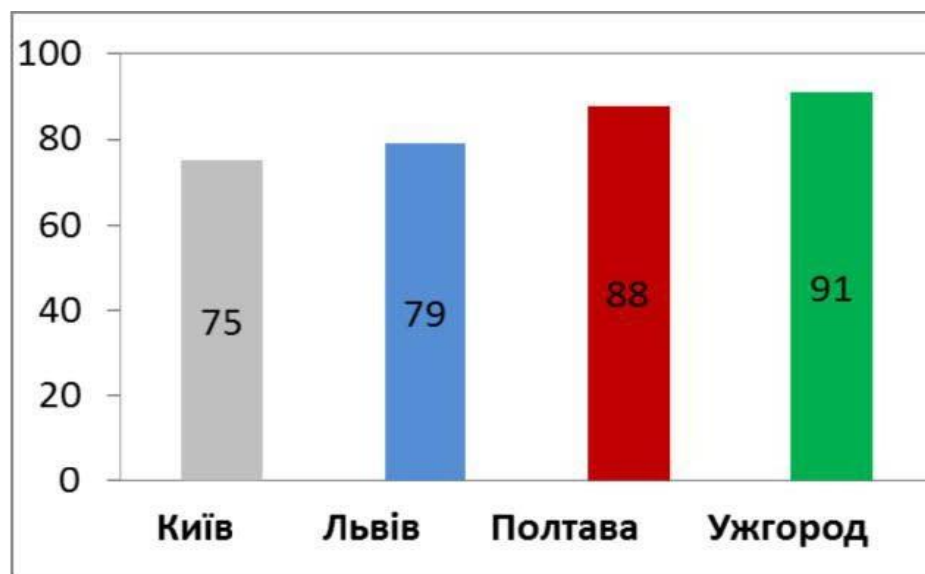


Рисунок 1.3 - Частка забруднення атмосфери автомобілями у великих містах України

Автомобільний транспорт здійснює наступні негативні впливи, які умовно поділяють [31], [33], [37]:

- значне використання паливної енергії за низького ККД;
- забруднення довкілля (атмосфера, ґрунти, води);
- джерело шуму та вібрацій;
- використання земель та угідь під шляхи та інфраструктуру;
- джерело підвищеної небезпеки, травмування та смерті людей і тварин.

## **1.2 Вплив виробництва автомобільних транспортних засобів на навколишнє середовище**

Безпрецедентне зростання швидкісного режиму транспорту мінімізує час на подолання значних відстаней, що дозволяє миттєво здійснювати будь-які постачання або ж перевезення пасажирів. Маючи неймовірне економічне зростання людство зіткнулось зі зворотними наслідками розвитку - екологічні проблеми, отруєння навколишнього середовища. В більш глобальному масштабі наслідки розвитку транспорту ведуть до змін клімату, що ускладнює прогнози та тенденції подальшого розвитку людства.

У П'ятій програмі дій Європейського Союзу з охорони довкілля стверджується, що транспорт є життєво важливим для розподілу товарів і послуг, а також для торгівлі та регіонального розвитку. У програмі стверджується, що поточні тенденції до збільшення попиту на транспорт можуть призвести до більшої неефективності, заторів, забруднення, втрата часу та вартості, небезпека для життя та загальні економічні втрати. Далі необхідно оцінити усі негативні впливи автомобільної галузі у різних аспектах.

*Споживання енергії.* Транспорт потребує енергії головним чином для роботи транспортних засобів і певною мірою також для виробництва транспортних засобів. На транспортний сектор припадає 25% світового споживання енергії [31], і він є одним із найскладніші сектори для досягнення запропонованих цілей. Тому дослідження, які проводилися протягом останніх кількох десятиліть були зосереджені на рівнях споживання палива автомобіля.

Нові технології, такі як альтернативні транспортні засоби Але вагомим є метод оцінки впливу автомобіля на навколишнє середовище полягає в його повному життєвому циклі, і попередні дослідження оцінюють, що фаза виробництва становить 10...25%, а фаза використання 75...90%, споживання енергії та викидів CO<sub>2</sub> протягом життєвого циклу транспортного засобу [4]. Тоді як кінець терміну служби транспортного засобу (ELV) вважається майже незначною. Таким чином, підвищується енергоефективність на етапі використання транспортного засобу й залишається найбільш пріоритетним, а етапи виробництва та утилізація автомобіля зазвичай були менш пріоритетними та важливими.

Оцінка за стандартом LCA - це концепція, яка розглядає весь життєвий цикл продукту. Оцінка життєвого циклу – це підхід «від створення до утилізації», яка включає оцінку промислових систем. Даний підхід також включає оцінку матеріалів, що добуваються із землі для створення продукту та закінчується тоді, коли всі матеріали повертаються назад в землю для подальшого розпаду. LCA оцінює всі етапи життя продукту з точки зору того, що вони взаємозалежні, тобто одна операція веде до наступного, що дає змогу оцінити кумулятивні впливи на навколишнє середовище в результаті всіх етапів життєвого циклу продукту, часто включаючи впливи не враховуються в більш традиційних аналізах (наприклад, видобуток сировини, транспортування матеріалів, кінцева утилізація продукту тощо). Включаючи впливи протягом усього життєвого циклу продукту LCA надає всебічний огляд екологічних аспектів продукту чи процесу та точнішу картину справжніх екологічних компромісів у виборі продукту [10-12].

Зокрема концепція LCA надала можливість оцінити екологічні аспекти і потенційні наслідки, пов'язані з виробництвом продуктом, процесом або послугою, через складання переліку відповідних витрат енергії та матеріалів та викидів в навколишнє середовище. При чому враховується необхідна енергія для виробництва, експлуатації протягом усього терміну служби від

його виготовлення, використання, обслуговування та остаточної утилізації; в тому числі придбання сировини, необхідної для виробництва продукту.

До прикладу, для виробництва деталей автомобіля, а також енергії, що споживається в його виробничих процесах, найчастіше використовуються:

- нафти 24,7 МДж/г;
- природного газу 28,7 г/МДж;
- вугілля 35,1 г/МДж;
- електроенергії 57,1 г/МДж.

С середньому японський автопром споживає енергію для виробництва автомобілів у наступному відношенні - нафти (20 %), природного газу (36%), вугілля (31,5%) та інші енергоносії (8,5%) [1].

Ефективність генеруючих та перетворюючих потужностей знаходиться в межах 40...60% залежно від енергоносія ресурсу, що використовується при виготовленні пластмаси і гуми.

### **1.3 Використання природних ресурсів під час виробництва автомобільних транспортних засобів**

*Використання сировини та матеріалів.* Пропонований темп виробництва транспортного засобу тягне необхідність використання значної кількості ресурсів і матеріалів. Мідна руда є найбільш дефіцитною сировиною через невелику кількість її покладів, на другому місці йде залізна руда, далі боксити. Однак, енергетичні ресурси найбільшою мірою витрачаються на виробництво металевого прокату, з якого виготовляють сталеві та алюмінієві деталі.

Дослідники встановили, що для виробництва середньостатистичного автомобіля вагою 1450 кг. необхідно понад 7800 кг сировини та енергетичних ресурсів. Це означає, що під час виробництва на 1 кг готового транспортного засобу затрачається 5,37 кг різноманітних ресурсів, серед них:

- Сталь, виробництво значно вдосконалилося. Різні частини та частини автомобіля потребують різних типів сталі, їх за міцністю згруповано на 5 різних типів.. Сталь є основним матеріалом для виготовлення кузовів, дверних панелей, шасі автомобіля та опорних балок. Її також використовують у вихлопних трубах і глушниках автомобіля. Через значну міцність сталеві елементи допомагають пасажиром залишатися в безпеці.

- Пластмаси, які використовуються у виробництві автомобілів, є побічними продуктами переробки газу і нафти. Пластмаси здобули поширення у виробництві автомобілів, оскільки, вони пластичні та досить міцні, щоб утримувати власну структуру та форму. Пластмаси становлять майже половину всіх деталей автомобіля, будучи основним компонентом при виготовленні панелі приладів, дверних ручок, труб і вентиляційних отворів. Довговічність, універсальність і легкі характеристики пластику роблять його ідеальним матеріалом для різних деталей [1-5], [16-17].

- Алюміній серед інших металів вирізняють легкість, міцність та пластичність роблять його ідеальним для виготовлення колісних дисків, блоків двигунів тощо. Від загальної кількості компонентів автомобіля; сьогодні це до 15% від загального обсягу автомобільних запчастин.

- Гума. З гуми виготовляють шини, опори двигуна, шланги, ущільнювачі склоочисників, ремені. Як і пластик, гума також дешева, міцна та гнучка.

- Скло використовується в екранах, об'єктивах камери та дзеркалах автомобіля. Це допомагає водієві мати чіткіше уявлення про умови та учасників руху. Лобове скло виготовлене з ламінованого скла, що гарантує користувачам найвищий рівень безпеки, особливо у випадку аварії. Процес ламінування передбачає нанесення тонкого шару вінілу між двома шарами скла.

- Скловолокно, воно виготовляється з дрібних тонких ниток скла та повітря, що надає йому багато переваг: корозійну стійкість, легкість та пожежну безпеку.

- Свинець є чудовим металом, оскільки він важкий і допомагає збалансувати вагові параметри автомобіля та ідеальним матеріалом для виробництва акумуляторів

- Мідь в основному використовується для електропроводки автомобіля та будь-яких інших електронних частин. Бортова мережа автомобілів майже повністю формується з мідних проводів

- Титан – рідкоземельний метал, тому більшість компаній утримуються від використання у виробництві, його здебільшого використовують для надання автомобілям більшої естетичності.

- Магній часто використовують для полегшення деталей конструкції кузова, корпусів та як легуючий елемент для різноманітних сплавів.

Загальна енергія, що витрачається на виробництво автомобіля складає близько 65 ГДж (42 МДж/кг маси автомобіля). При цьому майже 37% енергії витрачають на виробництво сталевих деталей.

Природний газ є найбільш споживаним енергетичним ресурсом у виробництві транспортних засобів, його споживання майже порівну розділено також у виробництві деталей з алюмінію, сталі та пластику, тоді як при складанні автомобіля переважає електрична енергія.

Енергія, яка використовується безпосередньо для виробництва матеріалів на етапі видобутку та виготовлення прокату і сировини складає до 69%, загального споживання, процеси виробництва і обробки деталей до 19%, операції фінішного складання транспортних засобів - до 13%.

*Забруднення повітря.* Транспорт є основним джерелом забруднення повітря не лише в розвинених країнах, а й у країнах, що розвиваються. Екологи вважають, що швидке зростання кількості транспортних засобів на наших дорогах, яке відбулося без будь-яких реальних обмежень, швидко переростає в екологічну кризу. Вихлопні гази є основним джерелом забруднення атмосфери автотранспортом, а основними забруднювачами є:

- Чадний газ (CO) - отруйний газ, що утворюється в результаті неповного згоряння палива;

- Неспалені вуглеводні (НС) – утворюються випаровуванням бензину та виділенням лише частково згорілих вуглеводнів;
- Інші гази та відкладення:
- Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>);
- Тетраетилсвинець і частинки вуглецевого пилу (PM);
- Альдегіди:

#### **1.4 Акустичне забруднення навколишнього середовища автомобілями**

*Шумове забруднення.* Іншим побічним ефектом транспортних систем є шумове забруднення, що перевищує 65 дБ. Джерел шуму від транспортних засобів багато і різноманітних, включаючи шум ходових частин від руйнування, грюкання дверей, незакріплені вантажі, звукові сигнали, надмірно посилені музичні системи тощо. Звук називають шумом, коли він стає безперервним і перевищує порогові межі слуху [3]. Автомобільний шум є результатом вібрації кузова транспортного засобу плюс звуку його роботи двигуна [2]. Шум має різні типи, включаючи імпульсивний шум, безперервний шум, переривчастий шум і низькочастотний шум. Деякі види шуму, генеруються з механічних операцій, транспортних засобів і різних промислових сигналізацій та сирен. Усі перераховані вище види шуму небезпечні для людей і тварин при перевищенні їх норм. Всі типи шуму разом діють однаково незалежно від джерела і викликають головний біль до високого кров'яного тиску та інших захворювань серця. Мігрень, шум у вухах, нудота, розлади сну, безсоння, якість життя та незначні стресові інсульти є результатом низькочастотного шуму. З усього вищевикладеного можна чітко побачити, що наслідки шуму для здоров'я є поширеними як гіпертонія, інфаркт міокарда, інсульт, смертність, запаморочення, високий кров'яний тиск і когнітивні захворювання, незалежно від джерел шуму, що передбачає контроль над усім шумом.

## **1.5 Використання земельних ресурсів та угідь**

*Використання земельних ресурсів.* Вчені-екологи часто неоднозначно ставляться до доріг і шосе поблизу природних екосистем. Ця перспектива різко відрізняється від точки зору багатьох економістів і регіональних планувальників, які зазвичай сприяють розбудові прикордонних ареалів та заповідників. Особливо гостра дане питання постало з тропічними лісами, які мають складну структуру та унікальний вологий, темний, стабільний мікроклімат та багато видів унікальних тварин.

Наприклад, у Бразилії лише недавно побудовано 1400-кілометрову автомагістраль розрізаючи навпіл ліс, який охоплює Амазонку (BR-163) інша автомагістраль (BR-319) наразі перебуває в процесі будівництва.

Нова щільна мережа транспортних доріг на Суматрі зробила доступним під'їзд лісозаготівельних компаній для промислової рубки одного з останніх тропічних лісів [31], [34].

Вчені нарахували приблизно 52 000 кілометрів нових лісозаготівельних доріг у басейні Конго і це лише невелика частина нової транспортної інфраструктури, доріг і магістралей, що проникають до останніх осередків незайманих екосистем.

Починаючи приблизно з кінця 1940 до кінця 1980-х років вирубка лісів була наслідком вибухового зростання населення планети, іншим фактором, що сприяв руйнуванню природних ресурсів, була політика розвитку сільських поселень, що сприяли великому напливу глобалістів та стрімкому розвитку сільського господарства.

## **1.6 Екологічні аспекти утилізації автомобілів**

*Утилізація автомобілів.* Автомобільна промисловість характеризується лідируючим процесом виробництва автомобілів і компонентів для транспортних засобів, включаючи використання матеріалів, енергії та



обладнання, а також процеси постачань. Автомобільна промисловість використовує загальні виробничі процеси, які пов'язані з сировиною, побічними продуктами або відходами. З іншого боку, необхідно мати точну інформацію про небезпеки для довкілля, які потенційно можуть нести відходи.

Автомобіль складається з 8 000...10 000 різних деталей та приблизно 100 основних вузлів, компонентів та агрегатів. Вони виготовляються з різних матеріалів, де здійснюється вибір матеріалу з дотриманням жорстких екологічних стандартів.

Виробництво, використання та утилізація після закінчення терміну служби в кінцевому випадку веде до великої кількості відходів, внаслідок чого відбувається забруднення ґрунту, повітря та води. Такі процеси відбуваються досі, оскільки технології утилізації ще недостатньо розвинені, зменшення та усунення.

З іншого боку, більшість країн світу абсолютно не здійснюють утилізацію та переробку автомобілів в кінці його життєвого циклу. Навіть найрозвиненіші країни мають великі проблеми з переробкою, які відображаються в:

- незаконно викинуті транспортні засоби (водотоки, ліси, зелені зони);
- вузли важко демонтуються та розділяються на менші частини;
- висока вартість реалізації технології та устаткування для переобки;
- висока вартість переробки відходів транспортних засобів (пластику, гуми тощо);
- велика кількість високотоксичних відходів тощо.

Процес утилізації зазвичай починається з доставки автомобіля на розбирання до спеціалізованого оператора, де матеріали поділяють на окремі категорії. Спочатку вилучають компоненти, які чинять найбільш шкідливий вплив, а саме речовини: моторне масло, паливо, гази кондиціонера та автомобільний акумулятор. Їх поставляють до спеціальних підрозділів переробки, які також займаються зберіганням, поки вони не будуть належним чином утилізовані. Після того механічні частини (двигун, коробка передач,

турбіна, система підвіски, форсунки тощо), кузов автомобіля розділений по частинах: двері, бампери, упори та ін), окремо відбираються шини, пластик, скло, тканини [31], [32].

Після демонтажу автомобіля, загальна вага транспортного засобу становить близько 50...70% від початкової ваги, наприклад в країнах ЄС і Японії. Те, що залишилося після демонтажу, поміщається в подрібнювачі, а легкі частини видуваються й остаточно відокремлюється повітряним аератором.

Крім того, шини, взяті з автомобілів, не можна використовувати повторно, а для пластикових, скляних частин та зібраних тканин, оператор, повинен мати угоду з сертифікованим підрозділом збору. Подушки безпеки також не можна перепродати, і всі вони відправляються на звалище.

Індустрія переробки автомобілів нерозривно пов'язана із загальною автомобільною промисловістю та будь-які плани щодо утилізації автомобілів необхідно закладати на етапі виробництва. Проблема утилізації є колосального масштабу, адже у 2010 році кількість автомобілів у світі перевищила рівень в 1 мільярд, а за прогнозами може сягнути 2,2 млрд до 2050 року. Щоб оцінити економічні та екологічні наслідки переробки та повторного використання частин вчені розрахували економічну вигоду клієнтів як різницю між середньої ціною нової деталі (оригінальної або замітника) і середня ціна вживаної деталі, а також вигоду для навколишнього середовища як зменшення вуглецевого сліду нових частин, які не були придбані. Наприклад під час виробництва однієї тони сталі у атмосферу потрапляє приблизно 5,7 тонн CO<sub>2</sub> та 44 тони CO<sub>2</sub> під час виробництва алюмінію.

### **1.7 Альтернативні силові агрегати автомобілів**

За останні роки автомобільна галузь переживає перехід електричного транспорту. Останнім часом найпопулярнішим компромісом за багатьма

експлуатаційними параметрами та звичками водіїв стали гібридні електромобілі, які поєднують електричну та звичайні системи згорання палива. Насамперед, це пов'язано з більшою автономністю та розширеною мережею паливних заправок у порівнянні з інфраструктурною системою пунктів підзарядки. Інфраструктура для підзарядки автомобілів широко розгорнута у великих містах, тоді як у малозаселених регіонах все ще досить обмежена. Тому використання термодинамічних моделей теплових двигунів, які використовуються в поєднанні з гібридними електричними послідовними, паралельним та змішаними трансмісіями у транспортних засобах на сьогодні є найбільш оптимальною конфігурацією.

Зважаючи на те, що в усьому світі відбувається активне пропагування та впровадження чистого транспорту гостро постає питання розробки різних методів і підходів для мінімізації викидів шкідливих речовин це спонукає провідних автовиробників орієнтуватися на нові та різноманітні технології, тим самим диверсифікуючи використання потенційних джерел енергії.

Першопрохідцем цьому контексті була модель Toyota Prius, випущена ще 1997 році, яка довела свою ефективність та надійність. Дана модель є напівгібридом з ручним перемиканням CVT зменшених розмірів і ваги, з низьким споживанням палива та оптимізованою аеродинамікою. Відповідно до прийнятої класифікації, транспортний засіб можна визначити як гібридний, якщо він може забезпечувати енергією двома або більше системами накопичення енергії, що працюють в тандемі з традиційними паливними системами разом або незалежно [1-3].

Подібним чином група важких гібридних транспортних засобів вказує на те, що гібридний автомобіль повинен мати принаймні дві системи накопичення енергії та перетворення енергії.

На практиці за способом генерації та перетворення енергії автомобілі класифікують наступним чином:

- Традиційні автомобілі з двигунами внутрішнього згорання позначають аббревіатурою ICE (Internal Combustion Engines).

- Клас гібридних автомобілів загалом маркують аббревіатурою HEV (Hybrid Electric Vehicle).

- Повністю електричні електромобілі, які використовують аккумуляторні батареї позначають BEV (Battery Electric Vehicle).

Далі кожен із класів класифікують на менші підкатегорії. Наприклад клас гібридних автомобілів HEV класифікують за ступенем електрифікації та потужністю силової установки.

Найменшим за ступенем електрифікації є технологія Micro HEV, що є модифікованою формою системи «старт-стоп». В таких автомобілях застосовують стартер підвищеної потужності працювати в режимі генератора, за рекуперативного гальмування. Таким чином заряджається батарея підвищеної ємності (рис. 1.4).

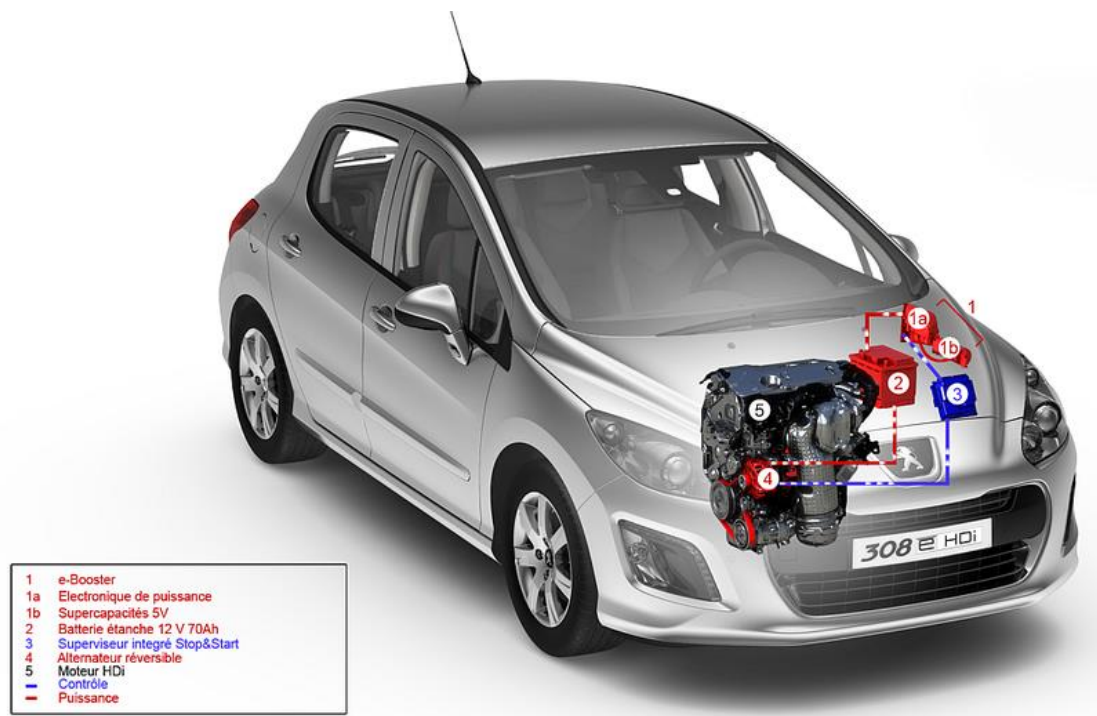


Рисунок 1.4 – Гібридна технологія Micro HEV компанії Peugeot e-HDI

Оптимізована мікрогібридна технологія, зменшує на рівень викидів CO<sub>2</sub> за рахунок зниження ваги на 25 кг на e-HDi.

Технологія стоп/старт нового покоління заснована на поєднанні 1,6-літрового дизельного двигуна HDi Євро 5 і реверсивного генератора з системою керування генератором Volt Control для відновлення енергії під час

уповільнення та гібридну батарею для накопичення додаткової енергії під час запуску двигуна e-booster, Дана технологія дозволяє знизити споживання палива в міському режимі на 15%, крім того забезпечується живлення кліматичної та мультимедійної систем, освітлення без забору потужності двигуна.

Наступний підклас - гібридні електричні автомобілі з середнім ступенем електрифікації з технологією HEV, що поєднує велику автономність звичайних транспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання та екологічними перевагами електромобілів, отримуючи автомобіль із меншим використанням викопного палива, меншими викидами забруднюючих речовин в навколишнє середовище [1-9].

Автономність автомобілів залишається визначальним фактором вибору технології отримання енергії, її степінь прямо залежить від ємності акумуляторів і типу водіння. Однак за несприятливих умов (зношеність батареї, мінусова температура) від автономності 800...1000 км залишається лише 20...30%, що не дозволяє водіям планувати поїздки на значні дистанції. У цьому контексті середній гібрид типу HEV є чудовою альтернативою чисто електричним транспортним засобам.

Окрім електричної частини HEV, у поточних моделях HEV все ще присутні ДВЗ для розширення автономності, обмежене значення, якої пропонує повністю електричний аналог. Різноманітні конфігурації із застосуванням ДВЗ та електричної тяги в HEV спрямовані на суттєве покращення автономності та забезпечує збільшену тягову силу.

Трансмісія HEV позбавлена традиційної коробки передач, натомість центральним механізмом в трансмісії є епіциклоїдна передача (планетарна), передача крутного моменту до диференціального вузла здійснюється через проміжні зірочки, тоді як рух назад досягається зміною напрямку електродвигуна. Для кращого розуміння на рисунку 1.5 схематично зображено потік енергії типового гібридного автомобіля з середнім рівнем гібридизації автомобіля. Така конфігурація дозволяє електричній системі

підтримувати тепловий двигун навіть під час прискорення. Однак електричний аналог все ще здатний лише частково виконувати функцію ДВЗ, оскільки йому не вистачає достатньої потужності для того, щоб приводити в рух автомобіль.

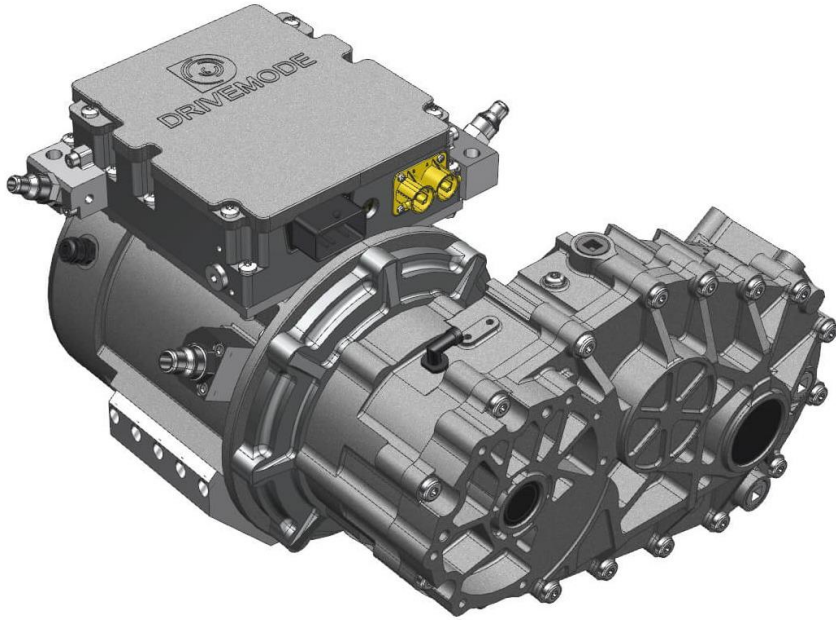


Рисунок 1.5 – Гібридна трансмісія автомобілів HEV

Дана технологія HEV забезпечує запуск та початок руху транспортного засобу та ініціалізації всієї системи тяги. Даний тип гібридної технології HEV дозволяє поновлювати потенційну енергію транспортного засобу через фазу рекуперативного гальмування за допомогою реверсивних електричних компонентів, таким чином досягається економія палива, в межах 20...25%.

Наступним підкласом є повні гібриди, у цій технології транспортні засоби зазвичай включають двигун внутрішнього згорання і електричний двигун, обидва підключені до трансмісії. Крім того, ця схема включає в себе генератор і акумулятор великої ємності. Повністю гібридні транспортні засоби зазвичай можуть працювати в чисто електричному режимі зі швидкістю до 30 або 40 км/год, крім цього, електрична система повинна підтримуватися тепловим двигуном. Під час прискорення електромотор створює додаткову тягу для ДВЗ, тоді як під час гальмування відбувається рекуперативний

підзаряд перетворюється на електричну енергію та зберігається в акумуляторних батареях. Електродвигун також корисний під час запуску та початку руху, що робить цю конфігурацію дуже зручною для тривалих поїздок в межах міста, або ж частими зупинками та стоянками. Обидві системи механічно пов'язані через трансмісію та мають постійний зв'язок колесами та дорогою, що дозволяє рециркуляцію електричної енергії в механічну і навпаки. Це дозволяє знизити споживання бензину до 50 %.

Відома модель Toyota Prius типовим прикладом даного рівня гібридизації, але дана технологія дещо модифікувалась й стала більш досконалою порівняно з аналогами кінця 1990-тих років. Схожа технологія реалізовано в силовій установці автоконцерну KIA-Hyundai (рис. 1.6).

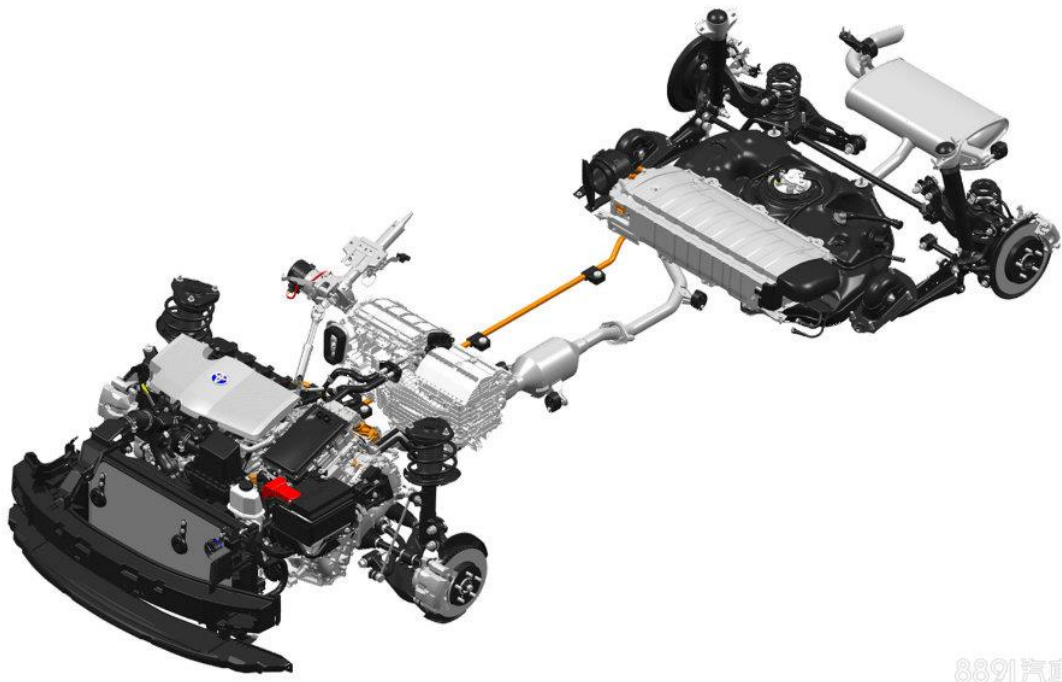


Рисунок 1.6 – Гібридна технологія HEV виробника KIA-Hyundai

Основною функцією гібридної системи є робота електродвигуна потужністю 32 кВт, для економії палива основного двигуна 1.6L GDI, який працює для заряджання акумуляторної батареї ємністю 160 кВт-год. Щойно акумуляторна батарея досягне бажаного рівня заряду, газовий двигун вимкнеться, і акумуляторна батарея буде використовуватися для запуску

електродвигуна для руху автомобіля. Після того, як акумуляторна батарея розрядиться, двигун знову запуститься, щоб зарядити акумуляторну батарею, і процес повторюється. Під час сильного прискорення газовий двигун і електродвигун працюють паралельно щоб максимізувати потужність і прискорення. Дана технологія реалізована на моделях автомобілів Elantra, Ioniq, Sonata, Tucson і Santa Fe, що дозволяє вказаним гібридам знизити споживання палива на 15...40% [1-9].

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

1. У розділі проведено статистичний аналіз загальної кількості, структури та віку транспортних парків різних держав. Наведено питомі показники рівня забезпеченості автомобілями на душу населення

2. Проаналізовано затрати ресурсів те енергії, безпосередній та опосередкований негативний вплив автомобілів на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу.

3. Досліджено альтернативні технології генерування та зберігання потенційної тягової енергії автомобілями.



## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПРИВОДІВ ТА ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

#### 2.1 Аналіз енергетичних потоків альтернативних силових агрегатів автомобілів

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) – апробована протягом століття технологія, що забезпечує тягову силу автомобілям, для якої адаптована дорожня, заправна та ремонтна інфраструктура. Крім того накопичений значний досвід фахівців з виробництва та обслуговування даного виду техніки.

Оскільки ДВЗ використовує тепловий принцип перетворення енергії, то за таких умов відбуваються колосальні втрати енергії палива (рис. 2.1).

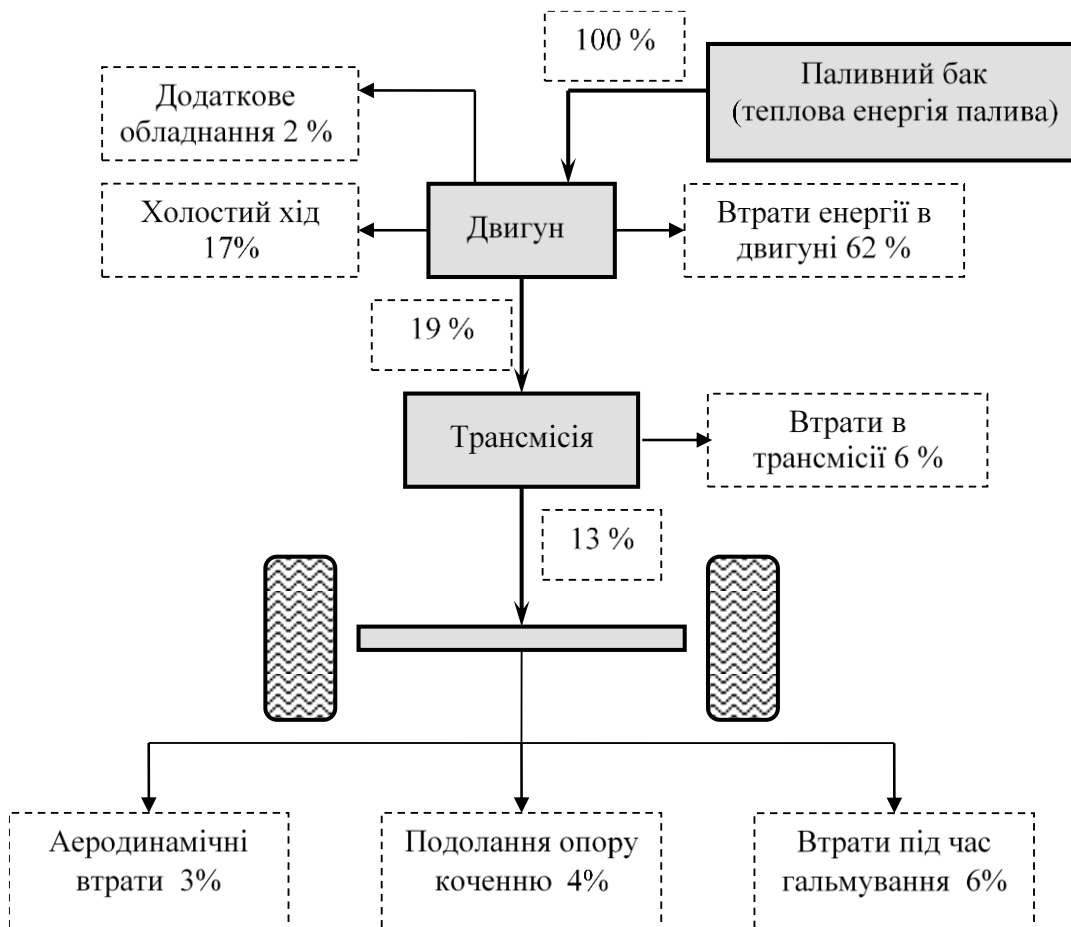


Рисунок 2.1 - Передача енергії в автомобілях з ДВЗ

Як видно з рисунку 2.1, лише 15...20% енергії пального використовується для передачі тягового зусилля колесами. За таких умов відбуваються значні теплові втрати, генерується значний об'єм викидів, які утворились за низького ККД [8], [34].

Ще донедавна до класу повних гібридних автомобілів відносили лише ті, які не могли заряджатися від електромережі. Натомість дозарядка батареї відбувається від ДВЗ і працювали вони виключно в парі. Згодом такі системи модифікували й автомобілі змогли рухатись виключно на тязі від електромотора протягом 1...5 кілометрів шляху. Згодом такі гібриди отримали батареї підвищеної ємності та потужний електромотор, також з'явилась можливість заряджатися від електромережі й використовувати лише електротягу. Згідно досліджень гібридні автомобілі здатні реалізувати 25...40% потенційної енергії у комбінованому циклі, 22...34% у на автострадах, а також та 29...40% – на міських мережах. Загальний ККД гібридної установки становить 65...70% (рис. 2.2).

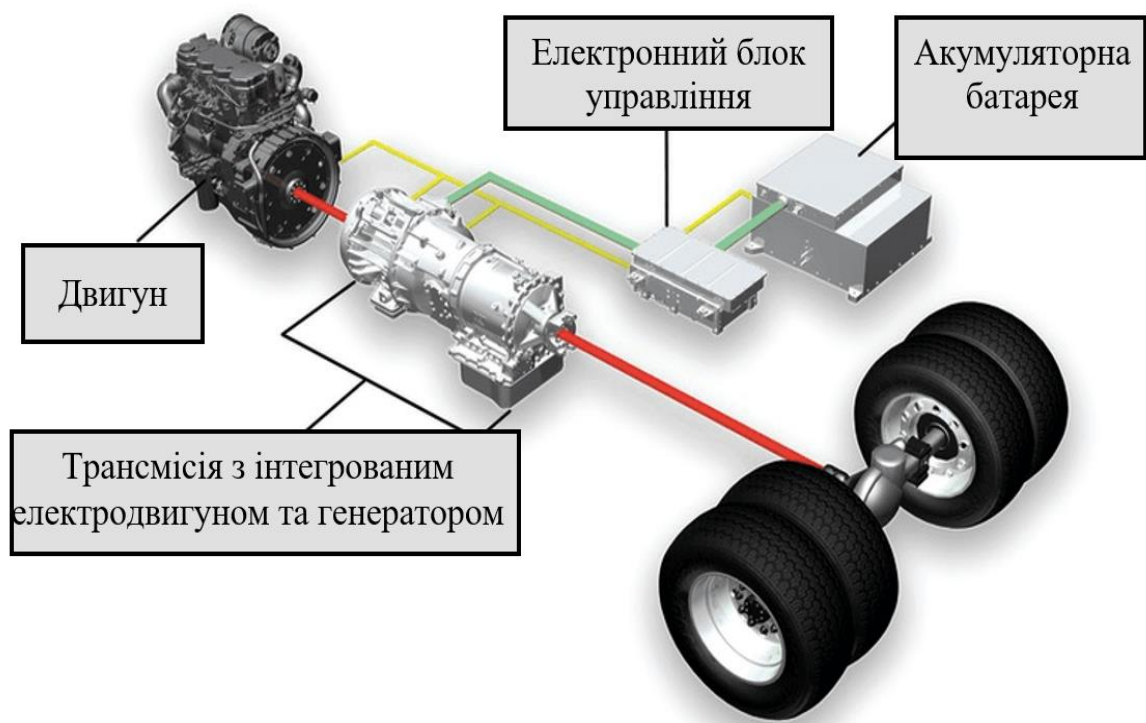


Рисунок 2.2 - Передача енергії в гібридних автомобілях типу PHEV

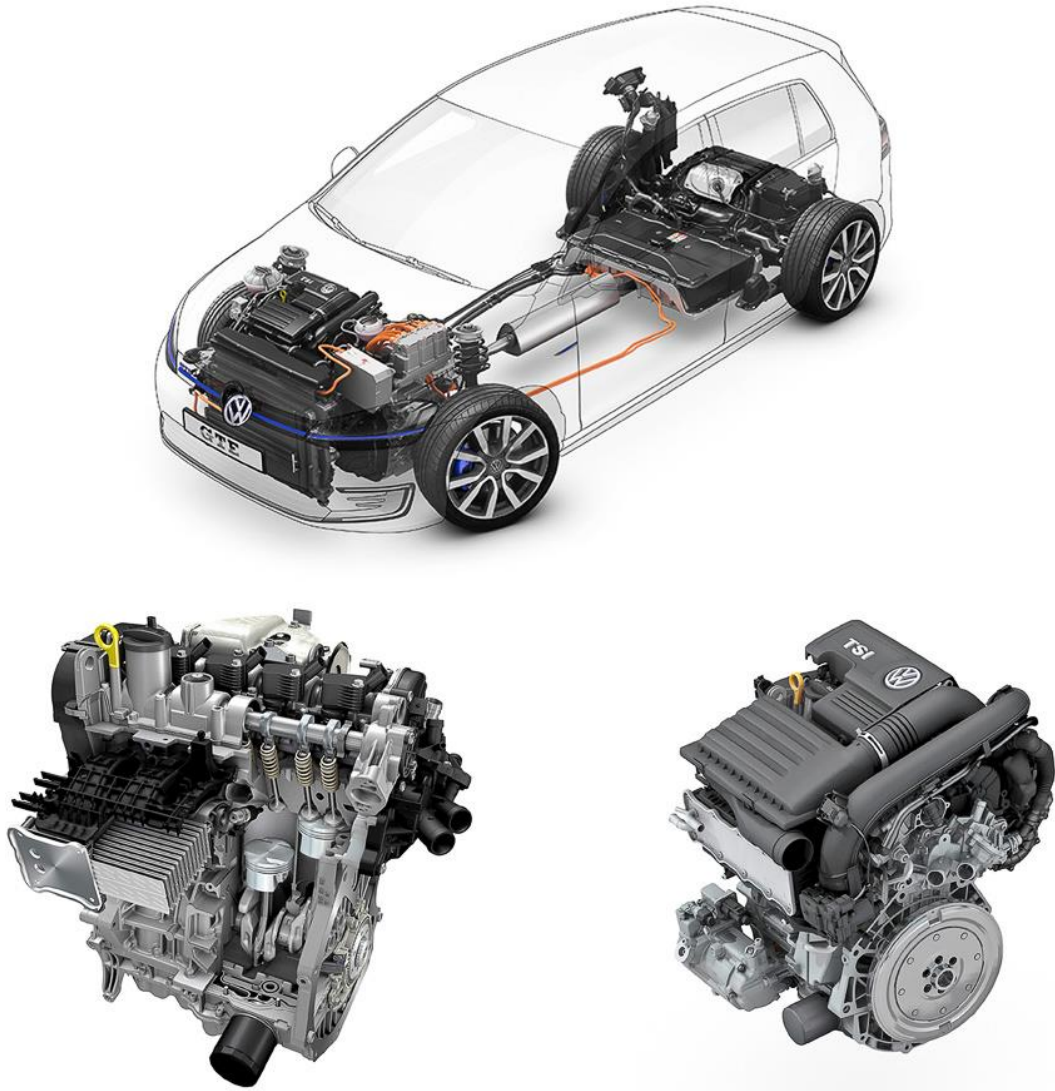
За типом генерування енергії та алгоритмом і напрямом передачі енергії розрізняють паралельні (HEV-parallel) та послідовні гібриди (REEV). Передача енергії у послідовних гібридах відбувається наступним чином. Силова трансмісія виконана у вигляді електромотора-генератора з акумуляторною батареєю, тоді як двигун внутрішнього згоряння не з'єднаний з механічним приводом головної передачі. Двигун внутрішнього згоряння слугує лише для зарядки батареї (рис. 2.3) [1-5], [11].



Рисунок 2.3 - Передача енергії в послідовних гібридних автомобілях типу (REEV)

Дана схема передачі енергії є простою в плані реалізації конструкції трансмісії, згідно якої електродвигуни приводять в рух колеса через головну передачу. Такий підхід до реалізації передачі енергій не отримав широкого розповсюдження через низьку ефективність, оскільки двигун внутрішнього згоряння лише перетворював механічну в електричну з низьким ККД та вартістю 1 кВт.

Наступним класом є паралельні гібриди (HEV – parallel hybrids), в яких у трансмісію встановлюється електродвигун, що дає змогу автомобілям поєднувати найкращі властивості ДВЗ та електротяги. Потужність ДВЗ та електромоторів реалізується через жорсткий механічний зв'язок з колесами. Тоді як електродвигун не змінює звичну архітектуру автомобіля, а лише доповнює її, тому дана технологія називається паралельною (рис. 2.4).



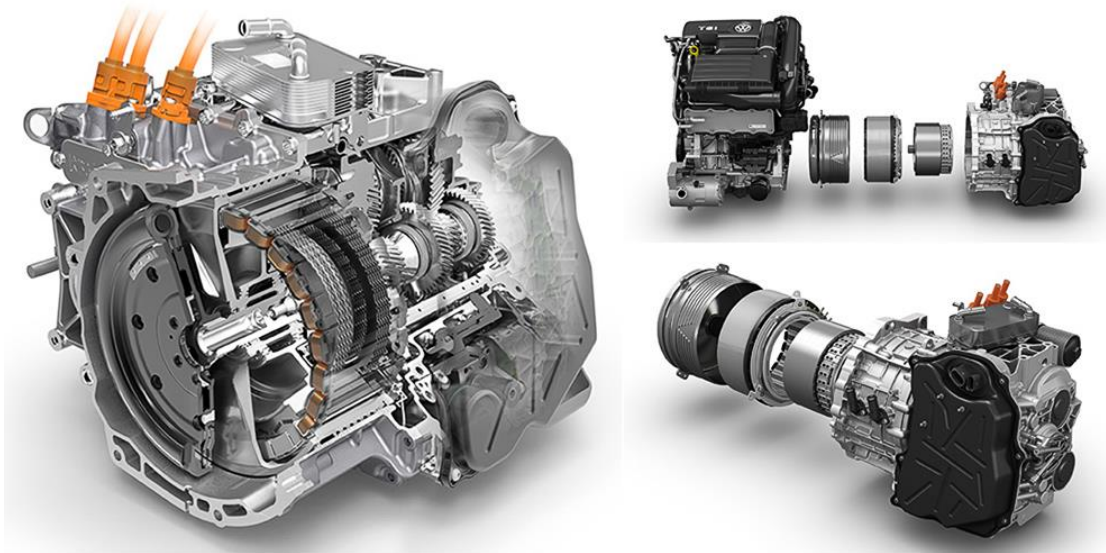


Рисунок 2.4 - Передача енергії в паралельних гібридних автомобілях типу (HEV – parallel hybrids)

На рисунках 2.4 видно, як електромотор інтегрується в коробку передач гібрида компанії Volkswagen, а сама конструкція автомобіля змінена не суттєво порівняно з бензиновими або дизельними версіями. Такий підхід до архітектури автомобіля зараз використовують майже усі провідні автовиробники, виготовляючи найбільш технологічні гібриди Plug-in з можливістю підзарядки від електричної мережі. Гібриди саме за такою схемою.

Іншим підвидом паралельних гібридів (HEV – parallel hybrids). В даних автомобілях електромотори обертають колеса незалежно від основної трансмісії з ДВЗ, у них часто застосовується один або кілька електромоторів, незалежних від коробки передач (рис. 2.5). Дані рішення реалізовані у більшості гібридних автомобілів компанії Toyota, що отримала назву HSD (Hybrid Synergy Drive) [1-5].

Незважаючи на високу ефективність конструкція автомобіля є досить складною та громіздкою. Крім основного двигуна внутрішнього додатково використовуються два електромотори, поєднаних планетарною передачею, що забезпечує можливість передавати крутний момент від декількох різних приводів (наприклад ДВЗ-електродвигун, електродвигун- електродвигун).

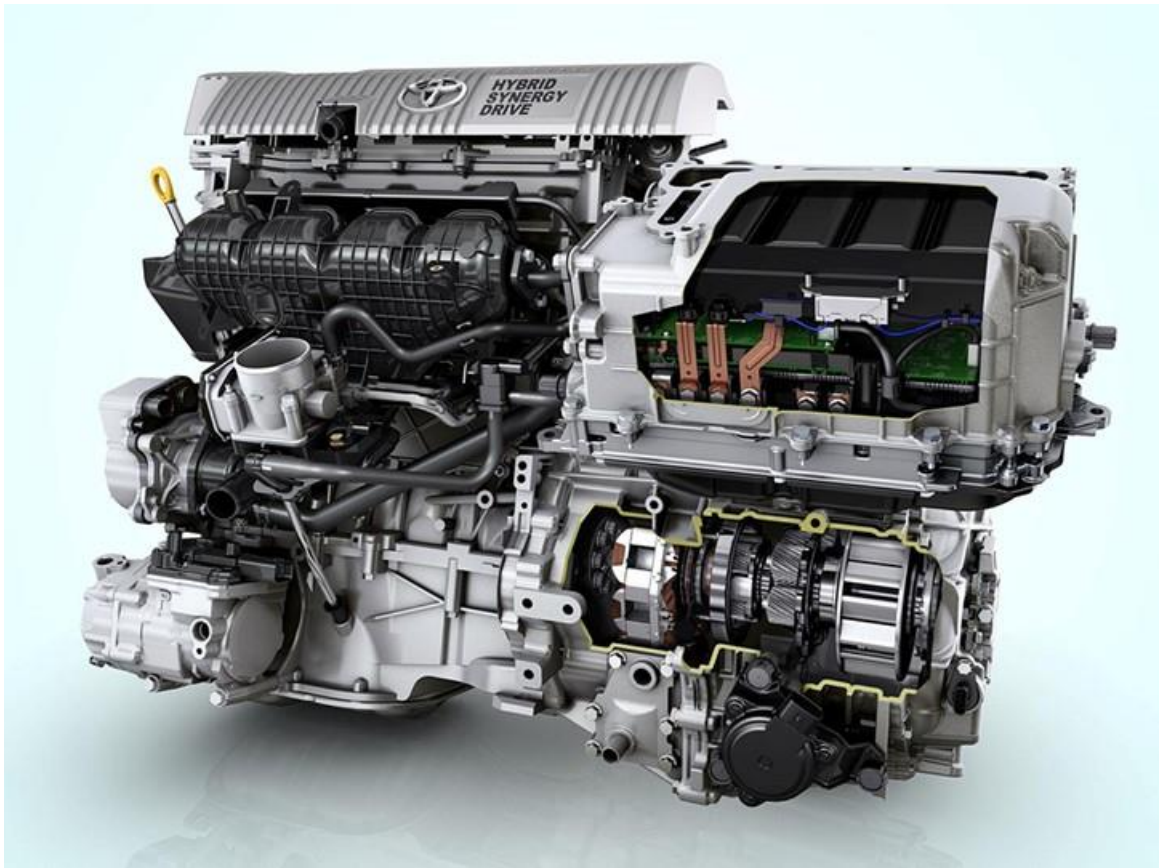


Рисунок 2.5 - Передача енергії в паралельних гібридних автомобілях типу (HEV – parallel hybrids)

Як видно із рисунка мотортрансмійна установка додатково оснащена двома електродвигунами – тяговим та генератором-стартером, при чому тяговий електромотор рекуперує енергію при гальмуваннях. Завдяки планетарній передачі, частина енергії від ДВЗ завжди використовується для заряду батареї.

Враховуючи вище зазначене можна зробити висновок, що в електромобілів середній ККД становить приблизно 60...68%, тобто така частка енергії відводиться на привід обертання коліс, а за умови використання технології рекуперації ККД збільшиться на приблизно 15%.

Повністю електрифіковані автомобілі на акумуляторних батареях через низьку щільність енергії акумуляторів мають нижчий робочий діапазон і вища споряджену масу порівняно зі звичайними автомобілями. Запас робочого ходу знаходиться в діапазоні від 350 до 450 км залежно від стилю водіння, що є

дуже мало для комерційного транспорту. Тому для більшого діапазону робочого ходу вантажних автомобілів знадобиться більше акумуляторів, але збільшуючи потужність збільшиться споряджена маса та зменшиться корисне навантаження.

Для комерційного транспорту очікується покращитися в майбутньому, оскільки акумулятори, які використовуються для тягачів-напівпричепів є Li-NMC (літій, нікель, марганець, кобальт), завдяки чому досягається щільність енергії 110 Вт-год/кг і ємності акумулятора 840 кВт-год. Разом з використанням двигунів із постійними магнітами, системами постійного струму (DC) для швидкого заряджання та з високою потужністю можна досягти ефективності передачі енергії до колеса в межах 85...90%.

Незважаючи на низьку ефективність перетворення та виробництва електроенергії, вона нівелюється високою бортовою ефективністю перетворення механічної енергії з ККД близько 65%. При цьому зберігається стійкий екологічний ефект від експлуатації автомобіля.

Іншим напрямом розвитку альтернативних технологій є використання паливних елементів на основі водню. Водень ( $H_2$ ) є найлегшим і найпоширенішим елементом на Землі, його теоретично можна виробляти майже з будь-якого первинного джерела енергії, хімічно зв'язаних з метаном ( $CH_4$ ) і водою ( $H_2O$ ). Зараз більша частина водню виробляється за допомогою пари метану через риформінг і невелика частина електролізом води. Широко використовується парова конверсія метану у хімічній та промисловій промисловості і називається «сірим воднем», оскільки процес супроводжується значними викидами  $CO_2$ .

Коли ж водень утворюється шляхом розщеплення води електролізом, даний процес відносять до так званого «зеленого водню» - якщо електроенергія, яка використовується для електролізу, походить від поновлюваного джерела енергії.

У технологіях FCEV водень зберігається в баку та перетворюється назад на електроенергію за допомогою паливних елементів для живлення

автомобіля. Завдяки електролізу, який перетворює електроенергію на водень, і паливні елементи, які перетворюють водень назад в електроенергію (незважаючи на втрати енергії), водень забезпечує оптимальне рішення для зберігання електроенергії, частково вирішуючи питання переривчастості генерування та поновлення запасу енергії електромобілями,

У результаті реалізації FCEV може доповнити значний сегмент електротранспорту переходом на відновлювану електроенергію. Автомобілі на паливних елементах мають великий потенціал завдяки хорошій енергоефективності та гравіметричній щільності енергії водню, що забезпечує великі робочі діапазони завдяки кращій автономності. Однак, щоб досягти високої об'ємної щільності енергії водню, його необхідно стиснути до 35...75 МПа, щоб зменшити об'єм для зберігання (рис. 2.6) [1], [21], [29].

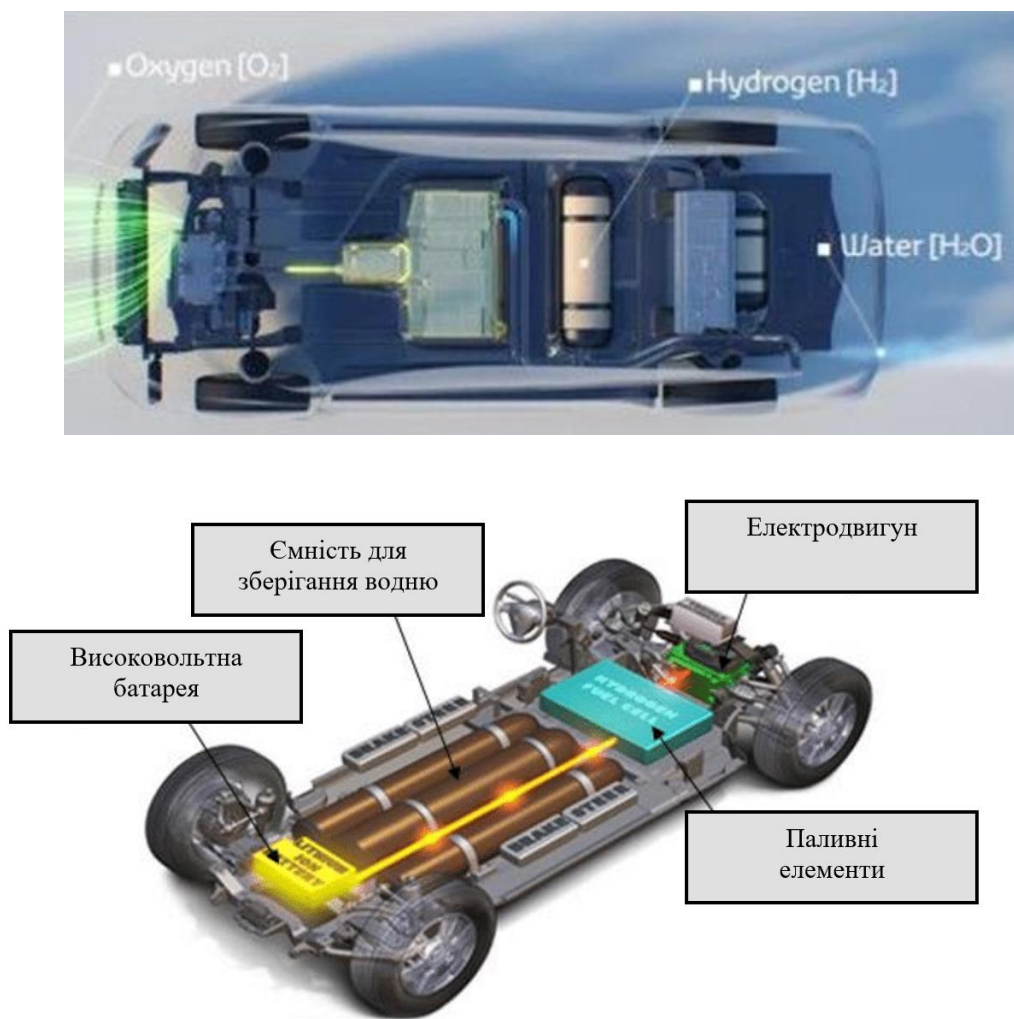


Рисунок 2.6 - Автомобіль на паливних елементах FCEV



Крім промислового риформінгу метану, електроенергію з водню можна отримувати шляхом електролізу, що є перспективним варіантом для низьковуглецевих або безвуглецевих способів виробництва водню.

Електроліз – хімічний процес за якого відбувається розщеплення води ( $H_2O$ ) на кисень  $O_2$  і водень  $H_2$ , а каталізатором виступає електричний струм. Процеси електролізу відомі вченим здавна як і виробництва водню для виготовлення добрив, однак частіше застосовують водень вироблений з природнього газу. В даний час електроліз води становить менше 0,1% виробництва водню в світі. Але зі зростанням технологій відновлюваної електроенергії та зниженням витрат, водень з виготовлений шляхом електролізу набирає популярності, і реалізується багато проектів із високою потужністю чистого виробництва.

Водень, вироблений за допомогою мережевої електроенергії на основі викопного палива призведе до значно вищих викидів парникових газів, ніж за умови використання відновлюваної або ядерної енергії. В даний час водень, отриманий шляхом електролізу, з використанням відновлюваної електроенергії може забезпечити скорочення промислових викидів  $CO_2$  на 80...85%.

Електролізні установкиз за продуктивністю можуть варіюватися від дуже малих, для дрібномасштабного розподілу, до дуже великих, для централізованих виробництв. Термодинамічна ефективність виробництва водню варіює від 60% до 85% ( в лабораторних умовах) та залежить від продуктивності та габаритів електролізерів та допоміжного обладнання і робочого тиску [1], [29].

На сьогодні в промислових масштабах доступні лужні електролізери (рис. 2.7), що використовують протонообмінні мембрани (PEM). Важливим аспектом реалізації даної технології є її комерціалізація, оскільки їх ефективність досягає 85...90%. А в залежності від способу електролізу середня репрезентативна енергоефективність електролізерів становить близько 65%, незалежно від обсягу і технології виробництва.

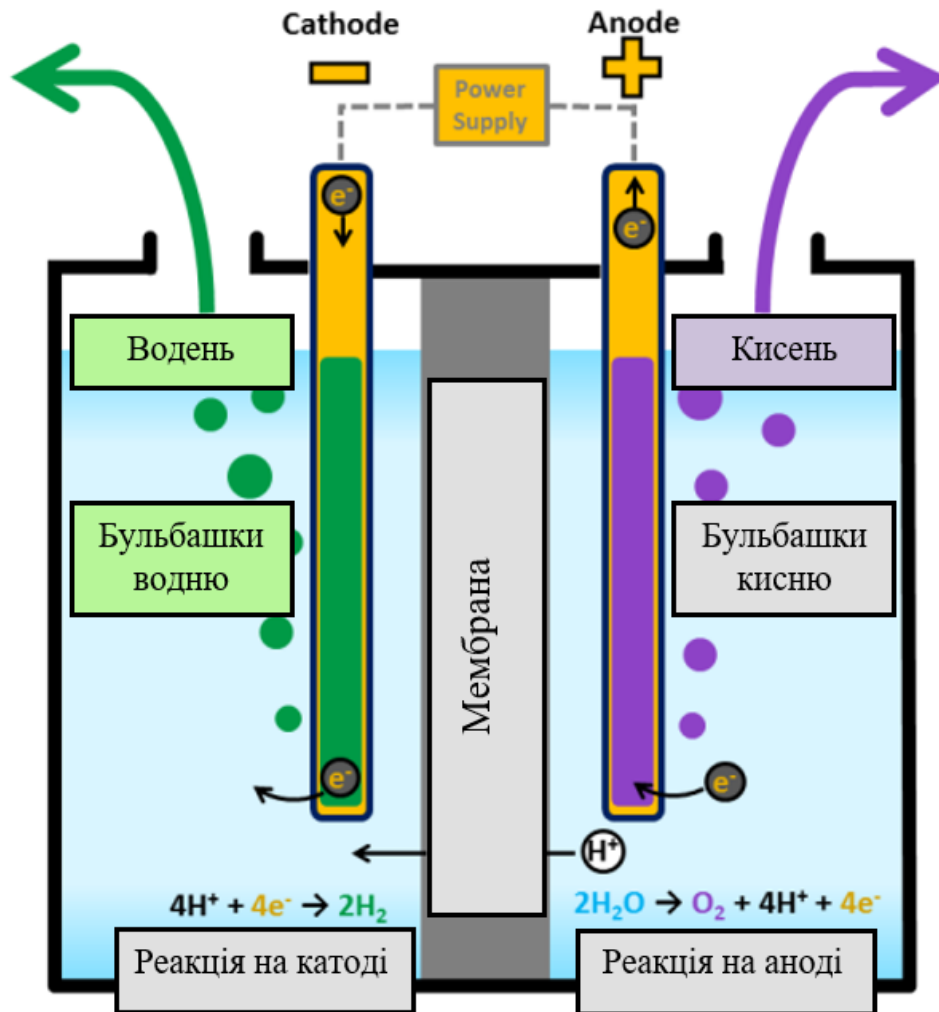


Рисунок 2.7 - Протонообмінний мембранний електролізер

Для транспорту розподіл водню під час виробництва відбувається під високим тиском на виході з електролізера й стиснутий до 3 МПа. Якщо водень виробляється на центральному виробництві, він може бути зрідженим і транспортованим і далі стиснений компресором для реалізації в межах АЗС.

В автомобілях на паливних елементах (FCEV) трансмісія подібна до BEV, за винятком того, що в якості енергії використовується водень і перетворюється в електроенергію за допомогою генератора на паливних елементах. В даному випадку акумулятор застосовується менший та працює як буфер накопичення енергії, щоб забезпечити пікові споживання енергії. Незважаючи на меншу батарею, FCEV містить водневий бак, який займає у чотири рази більше простору, ніж дизельний бак завдяки меншій об'ємній

щільності енергії водню. Крім того, водень потрібно стиснути до 35 МПа або 70 МПа, щоб забезпечити робочий діапазон пробігу, як і на звичайному паливі.

Для оцінки екологічних характеристик паливно-енергетичного носія на основі енергоефективності так і викидів забруднюючих речовин необхідно порівняти енергоспоживання трьох найбільш популярних видів палива, або ж енергоносіїв. Як демонструють дослідження, що незалежно від пройденого шляху, на основі питомих автомобілі VCEV і FCEV мають вищий рівень споживання первинної енергії, ніж, наприклад, дизельні автомобілі. Це пов'язано з низьким ККД багатоетапного перетворення електроенергії аж до її трансформації у крутний момент. Якщо порівнювати споживання енергії, що накопичена на борту автомобіля до її перетворення в обертання коліс, то для автомобілів VCEV ефективність становить 80...85%, FCEV – 50...60%, а ДВЗ – 30%.

Незалежно від походження первинного джерела енергії, дослідники намагаються досягти вищої енергоефективності, ніж водневі та дизельні силові установки. Для комерційного транспорту водневі силові установки потребують менше первинної енергії, ніж дизельні вантажівки, за винятком водню, отриманого шляхом електролізу. Не зважаючи на той факт, що електричні вантажівки є найбільш енергоефективними, щільність та запас їх енергії залишаються доволі низькими (рис. 2.8) [1-5].

Однак результати для водневих вантажівок протилежні, демонструючи вищі значення споживання первинної енергії для всіх технологій виробництва водню порівняно зі звичайними дизельними варіантами. Слід зазначити, що FCEV, незалежно від того, працює він воднем від SMR або електролізу, завжди потребуватиме більше енергії, ніж BEV. Оскільки водень виробляється з природного газу й окрім енергоємного процесу SMR, все ще вимагає стиснення енергоносія після виробництва та на заправній станції. Водень генерується під час електролізу під дією електричної енергії, де втрачається близько 35% , а коли у водень знову перетворюється на електроенергію через паливні елементи додатково втрачається ще близько 20%.

Хоча технологія FCEV вимагає більше енергії, ніж BEV, зберігається значний паритет завдяки щільності енергії та можливості зберігати значну кількість водню, загальна вага силової тягової установки є меншою порівняно з електричними батареями. Це робить їх більш придатними для пробігів на значні відстані [2].

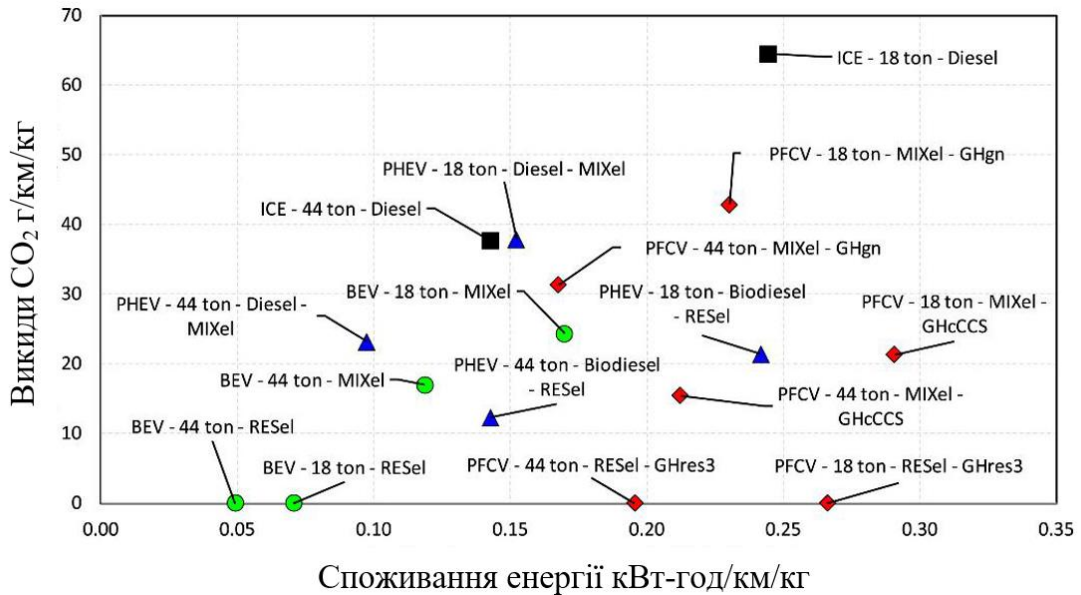


Рисунок 2.8 - Порівняння різних технологій генерування енергії, їх енерго- та екологічної ефективності за умови використання на вантажних автомобілях

## 2.2 Основні характеристики альтернативних видів палива для використання автомобілями

На теперішній час на автомобільному транспорті використовуються переважно двигуни внутрішнього згорання. Їх історія сягає ще 1870-х років, а вже через 10 років спостерігалось значне зростання їх використання, в цей же час здійснена перша поїздка транспортним засобом, оснащеним двигуном внутрішнього згорання. Від цього часу відбулось безпрецедентне зростання кількості транспортних засобів та різноманітних пристроїв з використанням ДВЗ. Що спричинило глобальні проблеми з енергоресурсами, екологією навколишнього середовища та змінами клімату.

Від тоді почався поступовий перехід до альтернативних видів палива, то їх використання зазвичай засноване на принципі внутрішнього згоряння або електричних двигунів, наприклад CNG (Стиснений природний газ), LPG (скраплений нафтовий газ), E85 (біоетанол) або водню, що лише формує інший склад паливної суміші.

Характеристика традиційних видів палива. Бензинові палива – вид пального, що виготовляється з різних фракцій сирової нафти з діапазоном кипіння від 35 °С до 200 °С. Цей діапазон температур пов'язаний з атмосферним тиском повітря і визначається різними складом горючих сумішей. За видами та експлуатаційним призначенням розрізняють бензин, гас (авіаційний бензин) і технічний бензин, де перший тип вважається найбільш затребуваним [11].

Бензин - суміш рідких вуглеводнів, з значною питомою часткою, яка залежить від виду сировини, її походження і технології виробництва. Основою для подальшої переробки є бензинова фракція, отримана шляхом атмосферної дистиляції. Її структура регулюється змішуванням інших компонентів з метою отримання відповідного октанового числа та оптимального складу вихлопних газів тощо [6].

Дизельне паливо це складна суміш, яка складається в основному з парафіну, циклопарафінових і ароматичних рідких вуглеводнів, з діапазоном кипіння 150...370 °С. Основну суміш зазвичай модифікують присадками, що покращують низькотемпературні властивості палива. Дизель не є спеціальною нафтовою фракцією під час перегонки сирової нафти, але її готують шляхом змішування газоліну та гасу по порядку для отримання відповідних властивостей. Необхідний крок для отримання остаточних властивостей дизеля є десульфурація, оскільки фракції з дистиляції містять досить велику кількість сполук сірки. Одним із компонентів дизеля є гас, важливий елемент для підтримання належної температури спалаху, оскільки, на відміну від бензину, дизельне паливо самозаймається стисненням його обсягу в просторі і не потребує іскри для запалювання.

Недоліком дизеля є вміст так званих важких часток які викликають швидкість седиментації та поступове забивання магістралей високого тиску у форсунках двигунах. Щоб запобігти цьому і водночас для поліпшення властивостей дизеля, добавки, такі як деспресанти, використовуються детергенти, інгібітори або антипіноутворювачі [5-8].

Деспресанти мають значний вплив на температуру замерзання, процес, який називають «парафінізацією дизельного палива», зменшують можливе утворення осаду, яке виникає протягом тривалого часу зберігання дизеля. Інгібітори служать захистом третювих частин в двигунах [12].

Альтернативні види палива. У наш час альтернативними видами палива вважаються такі, якими можна замінити звичайні види палива, такі як бензин і дизельне паливо. До них відносяться а також види палива, які є більш екологічними. У 1992 році термін «альтернативне паливо» було переосмислено, охоплюючи будь-які види палива, крім нафтового походження. Це означення також можна використовувати для звичайного палива, що використовується в альтернативних формах. В даний час існує кілька альтернативних форм нафтового паливо [11].

Найбільш підходящими для транспортних засобів, оскільки запаси бензину та дизеля обмежені, є LPG, метанол і етанол, але використання їх майбутньому буде досить обмеженим через подальший розвиток кардинально інших технологій. Їх можна вважати паливом для перехідного періоду, або диверсифікації нафтових палив. Тому станом на сьогодні найкращим варіантом з альтернативних видів палива є природний газ, з великими запасами порівняно із воднем та електроенергією.

Основними хімічними зв'язками (вуглецевими і водневими), які виходять із складу нафти і нафтопродуктів, є вуглеводні наступних основних груп (порядків): алкани (парафінового або метанового газового порядку), циклони (поліметилового ряду). або нафтового порядку), ароматичних (бензольний ряд) і алкенів (олефіновий ряд).

Залежно від того, скільки атомів вуглецю (C) міститься у вуглеводнях і як вони пов'язані один з одним, вуглеводні можуть бути газоподібними, рідкими або твердими речовинами. У рідкій частині нафти розчинені газоподібні і тверді вуглеводні.

Вуглеводні, що входять до складу газів різних типів, містять ( $n = 1...4$ ) атомів вуглецю. До складу бензину входять вуглеводні, в яких число атомів вуглецю становить ( $n = 4...12$ ). У гасі та дизельному паливі містяться вуглеводні з кількістю вуглецю в молекулах ( $n = 20...30$ ).

Алкани - відносяться до насичених (альфатичні) вуглеводнів із загальною структурою з формулою  $C_nH_{2n+2}$ , в якій відкритий ланцюг атомів вуглецю з'єднані один з одним простими валентними зв'язками, повністю насиченими атомами водню. Алкани мають кілька гілок нерозгалуженого ланцюга атомів, їх називають (N-алкани), при чому I-алкани мають нижчу температуру кипіння, ніж N-алкани з того ж ряду молекул.

Відносна ємність N-алканів при порівняно низьких і помірних температурах невисока, а при високих температурах 500...600 °K особливо інтенсифікуються процеси окиснення. При помірних температурах I-алкани більш реакційноздатні, як N-алкани.

Найвагомішими компонентами бензину є I-алкани, вони менш детонаційні, тоді як для дизельного палива більш вагомими компонентами є N-алкани, які мають менший період згоряння.

Циклани відносяться до ряду циклічних зв'язків вуглеводнів, в молекулах яких є замкнуті кільця (цикли) атомів вуглецю, з'єднані між собою простими валентними зв'язками. У нафті і нафтопродуктах значно частіше зустрічаються вуглеводні з 5 і 6 атомами вуглецю.

Ароматичні вуглеводні з структурною формулою ароматичних вуглеводнів  $C_nH_{2n-4}$ . У нафтопродуктах з ароматичних вуглеводнів більш поширений бензол  $C_6H_6$  і його гомологи, тобто бензол заміщує атоми водню.

Алкени - ненасичені вуглеводневі речовини, які мають ланцюгову будову, як і алкани, але відрізняються від останніх наявністю подвійного

зв'язку між деякими двома зв'язками атомів водню. Ізометричні структури алкенів можуть бути зумовлені не лише наявністю бічних ланцюгів, як в алкенів. Їх структурна формула  $C_nH_{2n}$ .

Температура займання – важлива характеристика горючих газів, вона відображає до якої температури необхідно нагріти горючий газ, щоб спалахнути, називають температурою займання. Це специфічна характеристика кожного газу.

Загалом температура займання нижча при горінні в чистому (сухому) кисні, ніж при горінні в повітрі або вологому кисні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Температурні характеристики горючих газів

Паливо		В атмосферному повітрі		У сухому кисні	
Вид палива	Позначення	[K]	[°C]	[K]	[°C]
Водень	H <sub>2</sub>	843	570	833	560
Чадний газ	CO	883	610	863	590
Метан	CH <sub>4</sub>	923	650	808	535
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	608	335	568	295
Етилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	813	540	758	485
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	793	520	-	-
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	753	480	743	470
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	733	460	553	280

Якщо невеликий об'єм газу, який спочатку запалився, не може виділити достатню кількість тепла, щоб привести газ у безпосередній близькості до горіння, горіння не може відбутися. Це може статися або тому, що в газокисневій суміші занадто мало газу, або тому, що газу забагато, а кисню занадто мало.

Мінімальна частка газу в об'ємних відсотках у паливно-повітряній суміші, для якої може відбуватися горіння, називається нижньою межею суміші, а максимальна частка газу – верхньою межею суміші.



Таблиця 2.2 – Температура горіння газових сумішей за нормальної температури та тиску

Паливо		В повітрі		В чистому кисні	
Вид палива	Позначення	Нижня	Верхня	Нижня	Верхня
Водень	H <sub>2</sub>	4,0	74,2	4,0	94,0
Чадний газ	CO	12,5	74,0	15,5	94,0
Метан	CH <sub>4</sub>	5,1	15,0	5,0	65,0
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2,3	81,0	2,8	93,0
Етилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,0	33,5	3,0	80,0
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,0	14,0	3,9	50,5
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,1	9,3	2,2	45,0
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,7	8,4	1,8	40,0

У процесі горіння є початковий період, який називається періодом ініціації, під час якого реакція між газом і киснем відбувається повільно, з низькою швидкістю, так що коли досягається температура займання, швидкість раптово зростає, реакція стає більш інтенсивною. Ця бурхлива реакція супроводжується значним виділенням тепла в початкових точках, де суміш спалахнула й запалює сусідні об'єми газу, викликаючи поширення горіння по всьому об'єму. Поширення полум'я в паливно-повітряній суміші відбувається в результаті кондуктивного поширення тепла від гарячих продуктів згорання.

Таблиця 2.3 – Максимальні швидкості горіння в повітрі за температури 293 °К

Паливо		Швидкість горіння, см/с	Необхідна концентрація газу для максимальної швидкості горіння, %
Вид палива	Позначення		
Водень	H <sub>2</sub>	267	42
Чадний газ	CO	41,5	43
Метан	CH <sub>4</sub>	37	10
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	131	10,2
Етилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	63	7
Етан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	45	6,3
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	41	4,2
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	37	3,3

Швидкість горіння залежить від складу газу, його концентрації в суміші, температури, тиску, теплопровідності суміші, а також середньої питомої теплоємності. Максимальна швидкість горіння гасне, коли після горіння в згорілих газах не залишиться паливного газу або кисню.

Дуже часто горючі газові суміші можуть самозайматися без стороннього втручання, просто нагріваючись до певної температури й для переважної більшості газів температура самозаймання знаходиться в межах 430...650 °С.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

1. У розділі наведено аналіз енергетичної ефективності різних технологій та реалізації альтернативних силових установок автомобілів, наведено фізичні та хімічні характеристики горючих паливних сумішей.

## РОЗДІЛ 3

### ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ДОДАТКОВОЇ ПОДАЧІ ВОДНЕВОЇ ГАЗОВОЇ СУМІШІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА

#### 3.1 Методика проведення досліджень

Одним із варіантів використання електричної енергії, отриманої в результаті термоелектричного перетворення теплової енергії водневої газової суміші, є забезпечення роботи електричних споживачів в автомобілі. Однак, більшість з цих споживачів є такими, що використовуються періодично і вплив їх використання на паливну економічність та екологічні показники автомобіля важко оцінити. Крім того, в такому випадку буде відбуватись пряме і обмежене лише наявними електричними споживачами використання електричної енергії. Тому, у дисертаційному дослідженні пропонується розглянути варіант непрямого використання отриманої від термоелектричної утилізації електричної енергії. Зокрема, для поліпшення робочого процесу автомобільного двигуна.

Останнім часом з метою поліпшення паливної економічності та зниження викидів сполук вуглецю, зокрема, вуглекислого газу, пропонуються різні способи додавання водню або водневмісних сумішей до паливоповітряної суміші автомобільних двигунів. Для вивчення ефектів додавання водню на витрату палива та викиди проводяться численні наукові дослідження. Такий інтерес до використання водню замість традиційних вуглеводневих палив обумовлений насамперед його високими енергетичними показниками та можливістю значно знизити або повністю позбутися викидів оксидів вуглецю та вуглеводнів [1], [2], [21], [29].

Використання чистого водню обмежене об'єктивними факторами. Зокрема, це безпека зберігання, відсутність компактних генераторів водню великої продуктивності, тощо. У зв'язку з цим постійно ведеться пошук способів замінити водень на більш доступний газ, технологія виробництва якого простіша та не потребує складного обладнання для використання. Це

можуть бути водневмісні гази, наприклад, синтез-газ, ацетилен, а також гримучий газ (газ Брауна). Останній викликає значний інтерес для практичного використання оскільки може бути отриманий простим способом в результаті електролізу водних розчинів лугів. Цей газ складається з водню і кисню ( $H_2/O_2$ ).

В ряді робіт проведено дослідження впливу добавки водневмісного газу з різними способами отримання і подачі до різних типів двигунів. Дослідженнях водневмісний газ отримувався шляхом електролізу води безпосередньо під час роботи двигуна з живленням від зовнішнього джерела або від штатного джерела електричного живлення автомобіля попередньо отриманий шляхом електролізу газ, накопичений в балоні під тиском газова суміш, утворена у впускному колекторі в результаті окремої подачі попередньо отриманих водню і кисню. Подача газу здійснювалась безпосередньо від електролізера за допомогою трубки з'єднаної із впускним колектором двигуна або під надлишковим тиском від балона за допомогою газових форсунок. Узагальнюючи результати цих досліджень можна стверджувати, що додавання водневмісного газу до свіжого заряду двигуна внутрішнього згоряння у кількості до 0,5 % від витрати повітря або до 6 % від витрати палива підвищує максимальний тиски температуру робочого тіла в циліндрі та скорочує тривалість процесу згоряння. Це дозволяє підвищити енергетичні показники та індикаторний к.к.д. двигуна, знизити абсолютну і ітому витрати палива, зниження викидів вуглеводнів, оксиду вуглецю і оксидів азоту в залежності від кількості доданого газу. Застосування газових форсунок для подачі водневмісного газу забезпечує його більш точне дозування. Найбільший ефект поліпшення показників двигуна можливо отримати в режимах малих навантажень і холостого ходу. При цьому, в окремих дослідженнях встановлено, що позитивний ефект додавання водневмісного газу спостерігається лише при невеликих величинах добавки. Крім того, використання енергії для роботи електролізера від штатного джерела електричного живлення автомобіля має негативний ефект на

енергетичні показники двигуна внаслідок збільшення механічного навантаження з боку електричного генератора. В режимах неповного навантаження це проявляється у додатковій витраті палива. Це практично нівелює позитивний вплив використання водневмісного газу на показники робочого процесу двигуна.

Тому, в умовах експлуатації автомобільного двигуна важливо забезпечити джерело електричної енергії для живлення генератора водневмісного газу, яке б не мало негативного впливу на показники двигуна і не потребувало додаткових витрат палива. З урахуванням того, що близько 60 % енергії, що вноситься з паливом у двигун втрачається у вигляді теплових втрат, актуальним джерелом додаткової електричної енергії є термоелектричний генератор.

Таким чином, вироблена електроенергія термоелектричним генератором може знайти застосування у процесі генерації суміші водню з киснем. Це дасть можливість підвищити паливну економічність енергоустановки за рахунок зменшення енергозатрат на електроліз води для генерації водневої суміші.

Схема додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, що пропонується в даній роботі, представлена на рис. 3.1.

Функціонування системи відбувається наступним чином. Під час роботи двигуна внутрішнього згоряння через впускні клапани до циліндрів подається свіжий заряд, що складається з повітряного заряду та палива. Повітряний заряд надходить у впускну систему через повітряний фільтр. В результаті робочого циклу та згоряння палива до робочого тіла в циліндрі підводиться тепла енергія, частина якої за допомогою кривошипно-шатунного механізму двигуна перетворюється в механічну енергію обертання колінчастого вала. Інша частина теплової енергії відводиться з відпрацьованими газами, що виходять з циліндрів через випускні клапани та очищуються від шкідливих

речовин за допомогою каталітичного нейтралізатора у випускній системі двигуна. Для забезпечення функціонування систем управління двигуном, подачі палива, запалювання та інших електричних споживачів використовується основна акумуляторна батарея. Для підтримання необхідного рівня зарядженості акумуляторної батареї частина механічної енергії від колінчастого вала двигуна надходить до електричного генератора, який виробляє необхідну кількість електричної енергії [8], [18], [29].

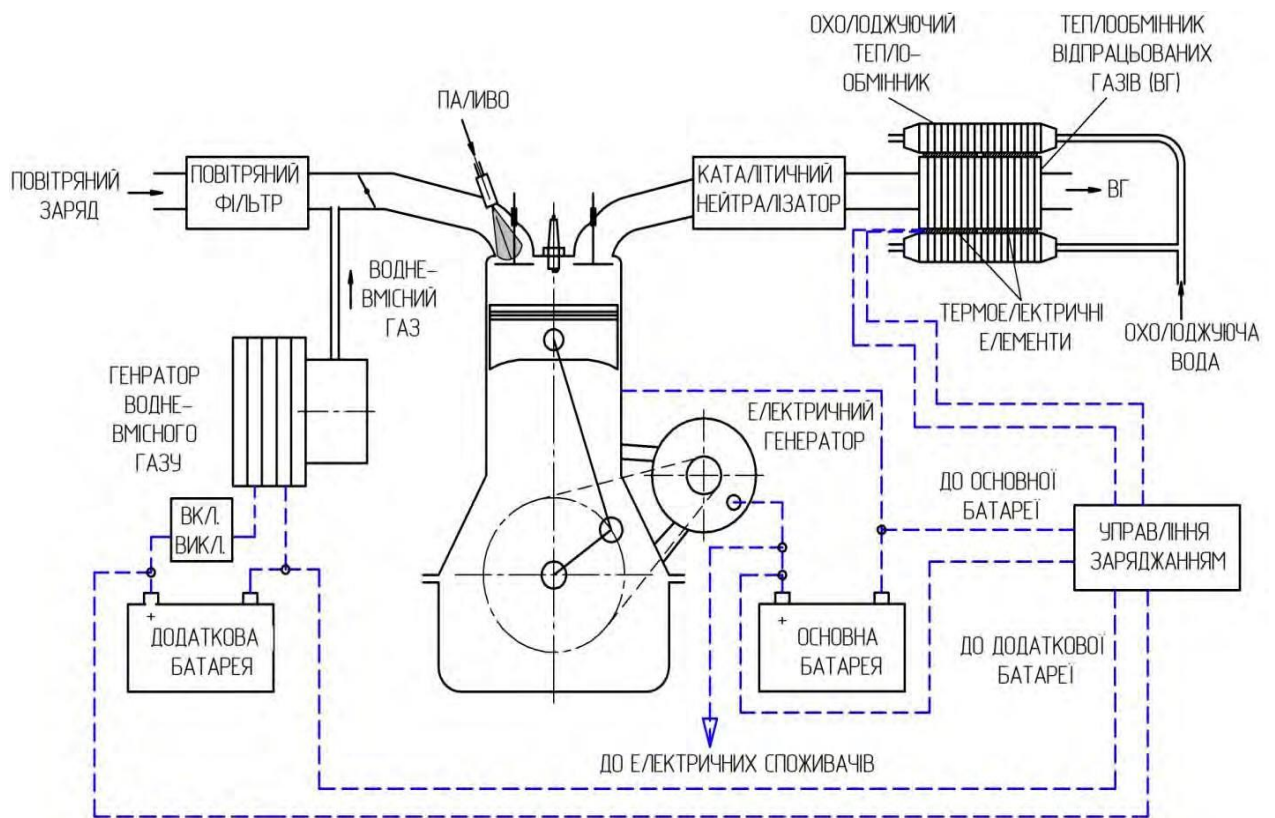


Рисунок 3.1 – Принципова схема система додаткової подачі водневої газової суміші бензинового двигуна

Для поліпшення паливної економічності та екологічних показників після повітряного фільтра до повітряного заряду двигуна додається водневмісний газ, що отримується від генератора газу. Електрична енергія для живлення генератора водневмісного газу надходить від додаткової акумуляторної батареї. Робота генератора водневмісного газу контролюється

за допомогою вимикача, що може автоматично керувати електричним живленням генератора в залежності від режиму роботи двигуна.

Для підтримання необхідного рівня зарядженості додаткової акумуляторної батареї використовується електрична енергія від термоелектричного генератора. Цей генератор встановлено у випускній системі після каталітичного нейтралізатора. Термоелектричний генератор складається з теплообмінника відпрацьованих газів, термоелектричних елементів та охолоджуючого теплообмінника. Теплова енергія відпрацьованих газів передається через теплообмінник до гарячої сторони термоелектричних елементів, які перетворюють її частину на електричну. Для забезпечення функціонування термоелектричних елементів з боку їх холодної сторони встановлено охолоджуючий теплообмінник. До цього теплообмінника подається охолоджуюча вода для відведення теплової енергії. Отримана електрична енергія від термоелектричного генератора надходить через блок контролю зарядженості до додаткової акумуляторної батареї. Блок контролю зарядженості контролює ступінь зарядженості додаткової батареї і після її повного заряджання направляє потік електричної енергії від термоелектричного генератора до основної акумуляторної батареї. Також до функцій блоку контролю зарядженості відноситься переключення живлення генератора водневмісного газу на основну акумуляторну батарею у разі зниження рівня зарядженості додаткової батареї до мінімального значення.

### **3.2. Обґрунтування геометричних параметрів термоелектричного генератора подачі водневої суміші**

Схема включення термоелектричних елементів для перетворення теплової енергії ВГ показана на рис 3.2. Під час функціонування автомобільного ДВЗ частина теплової енергії Водневої газової суміші (ВГС)  $Q_{eg}$  за допомогою теплообмінника передається до термоелектричного елемента, що має к.к.д.  $\eta$ , внаслідок перепаду температур між ВГС та

охолоджуючою рідиною. Частина отриманої термоелектричним елементом енергії перетворюється в електричну, решта відводиться в охолоджуючу рідину.

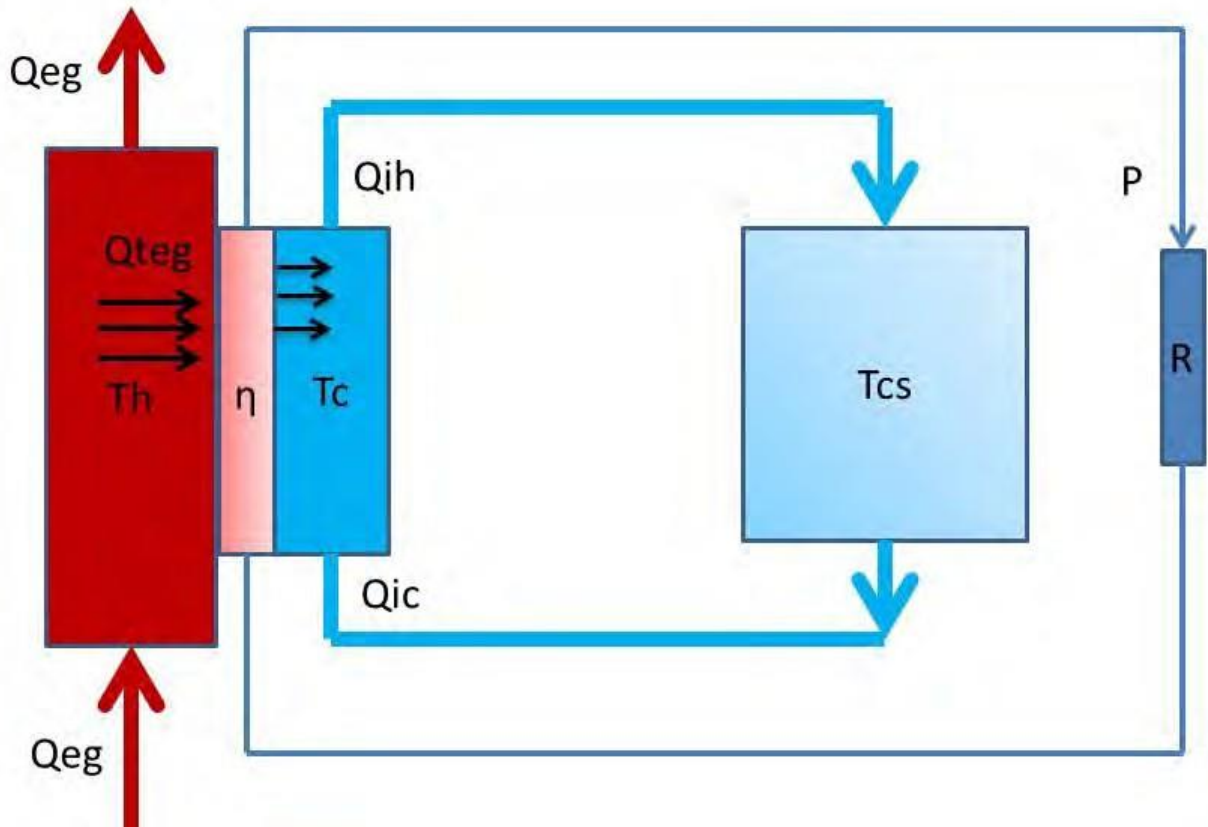


Рисунок 3.2 – Принципова роботи термоелектричних елементів для використання теплової енергії ВГС:  $Q_{teg}$  – кількість енергії, що поглинається термомодулем;  $\eta$  - к.к.д. термомодуля;  $Q_{ic}$  – кількість енергії до охолодження модуля;  $Q_{ih}$  – кількість енергії після охолодження модуля;  $P$  – корисна енергія, що може бути використана;  $T_h$  – температура відпрацьованих газів;  $T_c$  – температура модуля охолодження;  $T_{cs}$  – температура в системі охолодження ТЕГ;  $R$  – електричне навантаження

Для забезпечення функціонування термоелектричних елементів використовуються теплообмінник ВГС для передачі теплової енергії від ВГС до термоелектричних елементів та охолоджуючий теплообмінник для



передачі надлишкової теплової енергії від термоелектричних елементів до охолоджуючої рідини.

Визначення основних розмірів термоелектричного генератора для забезпечення роботи генератора водневмісного газу передбачає розрахунок на основі його потреб у електричній потужності. Необхідна електрична потужність ТЕГ для забезпечення виробництва водневмісного газу дорівнює  $N_{\text{ТЕГ}} = 360 \text{ Вт}$ .

Виходячи із значення коефіцієнта корисної дії термоелектричного елемента (за даними виробника)  $\eta_{\text{ТЕ}} = 0,06$ , потужність теплової енергії, яку необхідно підвести до ТЕГ для забезпечення його необхідної потужності буде дорівнювати  $N_{Q\text{ТЕГ}} = 360/0.06 = 6000 \text{ Вт}$ .

З іншого боку, потенційна потужність теплової енергії ВГ, що може бути передана ТЕГ в номінальному режимі роботи двигуна визначається як, кВт

$$N_{\text{ВГ}} = C_{\text{vm}}^{\text{ВГ}} \cdot G_{\text{ВГ}} \cdot (T_{\text{ВГ}} - T_{\text{cm}}^{\text{ВГ}}) \quad (3.1)$$

Температура ВГ в номінальному режимі роботи двигуна, необхідна для розрахунку, дорівнює  $T_{\text{ВГ}} = 900 \text{ К}$ . Теплоємність ВГ, що залежить від температури ВГ, визначається як, кДж/(кгК):

$$C_{\text{vm}}^{\text{ВГ}} = 0,8 + 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot (T_{\text{ВГ}} - 273) = 0,932 \quad (3.2)$$

Годинна витрата ВГ двигуна VW ВВУ в номінальному режимі роботи, визначається як сума витрат палива і повітря за результатами експериментальних досліджень [8], дорівнює  $G_{\text{ВГ}} = 237 \text{ кг/год}$ . Температура стінки теплообмінника ВГ може бути прийнята як для температури стінок випускної труби, що дорівнює  $T_{\text{ст}} = 573 \text{ К}$ .

$$N_{\text{ВГ}} = C_{\text{vm}}^{\text{ВГ}} \cdot G_{\text{ВГ}} \cdot (T_{\text{ВГ}} - T_{\text{cm}}^{\text{ВГ}}) = 20 \text{ кВт}$$

Як видно, потенційна потужність 20 кВт, яка може бути підведена до ТЕГ з боку відпрацьованих газів, значно перебільшує необхідну потужність 6 кВт, що необхідна для роботи генератора водневмісного газу.

Для визначення площі теплообмінника ВГ виходимо із принципу забезпечення потужності теплової енергії, що необхідно підводити до ТЕГ для

забезпечення вироблення необхідної електричної енергії, яка визначається в залежності від розмірів теплообмінника, інтенсивності теплообміну, температури ВГ і стінки теплообмінника, Вт:

$$N_{QTEG} = \alpha_{BG} \cdot F_{TEG}^{BG} \cdot (T_{BG} - T_{cm}^{BG}) \quad (3.3)$$

Спочатку необхідно визначити коефіцієнт тепловіддачі від ВГ до стінок теплообмінника ТЕГ, Вт/(м<sup>2</sup>К), за формулою Вошні [3]:

$$N_{QTEG} = \alpha_{BG} \cdot F_{TEG}^{BG} \cdot (T_{BG} - T_{cm}^{BG}) \quad (3.4)$$

Еквівалентний діаметр теплообмінника ВГ приймаємо рівним  $d_{TEG} = 0.08$  м. Тиск потоку ВГ у теплообміннику згідно експериментальних даних  $p_T = 110000$  Па. Відповідна швидкість потоку при перепаді тисків  $p_T / p_0$  буде  $\omega_T = 30$  м/с. Виконуємо розрахунок коефіцієнта тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К):

$$\alpha_{BG} = 1,12 \cdot 10^{-2} \cdot d_{TEG}^{E-0.2} \cdot p_T^{0.8} \cdot T_{BG}^{-0.53} \cdot (6.18 \cdot \omega_T)^{0.8} = 355$$

Тоді необхідна площа поверхні теплообміну теплообмінника ВГ  $F = 0,052$  м<sup>2</sup>.

Для визначення площі теплообмінника охолоджуючої рідини виходимо із принципу забезпечення потужності теплової енергії, що відводиться від ТЕГ, яка враховує потужність теплової енергії, перетворену в електричну, в залежності від параметрів теплообмінника, Вт:

$$N_{QTEG}^{відв.} - N_{QTEG} - N_{TEG} = \alpha_{ox.p.} \cdot F_{TEG}^{ox.p.} \cdot (T_{cm}^{ox.p.} - T_{ox.p.}^{TEG}) \quad (3.5)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінок теплообмінника до охолоджуючої рідини приймаємо рівним  $T_{ox.p.} = 3600$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Температура стінки охолоджуючого теплообмінника, визначена на основі експериментальних даних,  $T_{ст}^{ox.p.} = 303$  К. Температура охолоджуючої рідини ТЕГ  $T_{ox.p.}^{TEG} = 293$  К.

Тоді, необхідна площа поверхні теплообміну теплообмінника охолоджуючої рідини  $F_{TEG}^{ox.p.} = 0,157$  м<sup>2</sup>.

У відповідності до визначених площ теплообміну, розмірів та кількості термоелектричних елементів (56x56 мм, 8 шт.) визначено розміри теплообмінника ВГ і охолоджуючої рідини. Збірне креслення спроектованого

A-A

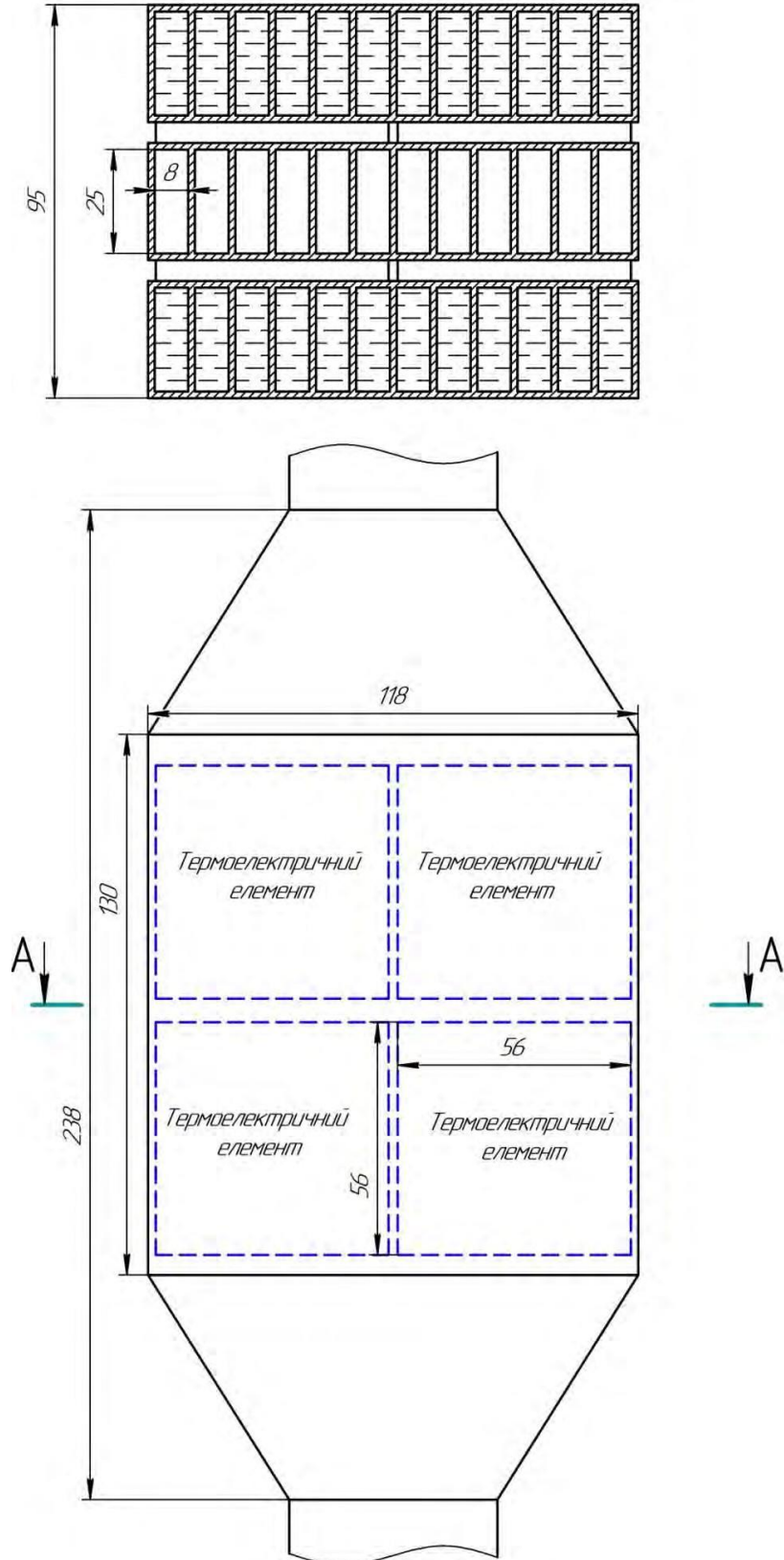


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд пропонованого термоелектричного генератора

термоелектричного генератора наведено на рисунку 3.3. Дійсна площа поверхні теплообміну ВГ складає  $0,089 \text{ м}^2$ . Дійсна площа поверхні теплообміну охолоджуючої рідини  $0,177 \text{ м}^2$ .

Електрична енергія від термоелектричного генератора була отримана як сума електричних енергій окремих термоелектричних елементів, з'єднаних за послідовно-паралельною схемою таким чином, щоб робоча електрична напруга у ланцюгу живлення генератора водневмісного газу підтримувалась на рівні близько 14 В. Відповідна схема електричних з'єднань (рис. 3.4) здійснюється таким чином, щоб забезпечити на виході з ТЕГ електричну напругу 14 В, номінальний електричний струм при цьому буде складати 12 А, що забезпечить номінальну потужність ТЕГ 168 Вт (відповідно до експериментальних досліджень).

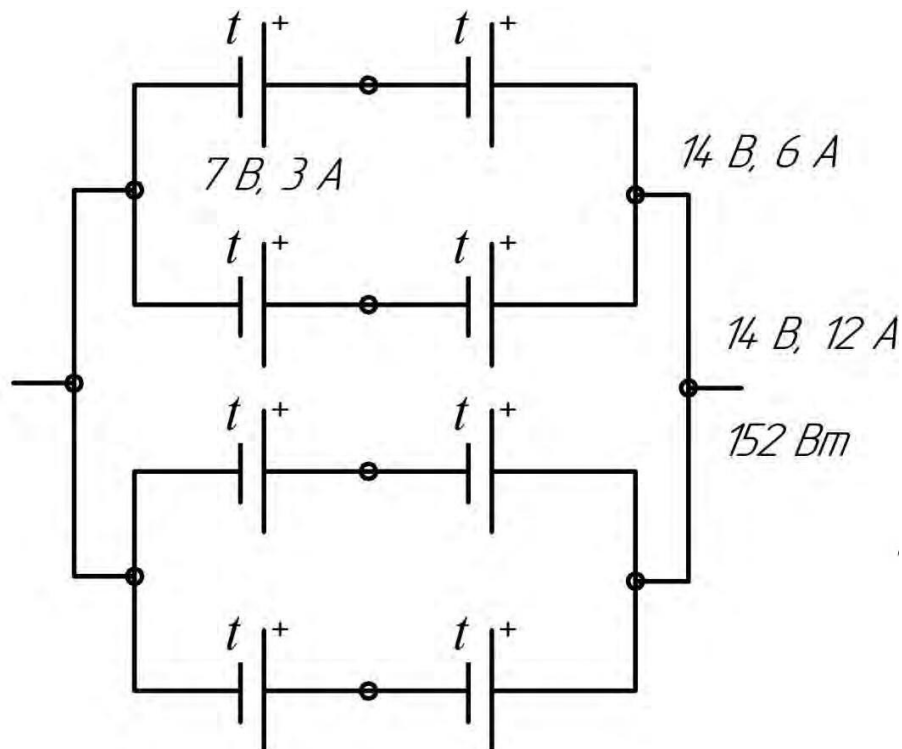


Рисунок 3.4 – Схема підключення термоелектричного генератора

Технічні параметри системи додавання ВГС до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні параметри пропонованої системи додаткової подачі водневої газової суміші за допомогою термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Найменування параметра	Значення
Спосіб виробництва водневмісного газу	електроліз
Робоче тіло генератора водневмісного газу	водний розчин КОН
Номінальна продуктивність виробництва водневмісного газу, л/хв	3
Номінальна електрична потужність виробництва водневмісного газу, Вт	360
Ємність додаткової акумуляторної батареї, А-год	30
Матеріал теплообмінників термоелектричного генератора	алюміній
Виробник термоелектричних елементів	TEGpro
Потужність термоелектричного елемента, Вт	19
Максимальна температура термоелектричного модуля, °С	400
Робоча електрична напруга, В	14
Кількість термоелектричних елементів	8
К.к.д. термоелектричного генератора	0,035

У пропонованій системі було використано термоелектричні елементи TEGMART 19W (8 шт.) загальною номінальною потужністю 152 Вт. Загальний вигляд термоелектричного модуля представлено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд термоелектричного модуля TEGMART

Запропонована конструкція термоелектричного модуля передбачає послідовне з'єднання термопар на основі вісмуту Ві та телуру Те.

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**

1. Запропоновано альтернативну схему конструкція термоелектричного модуля побудовану на основі послідовного з'єднання термопар з використанням термоелектричних елементів TEGMART 19W (8 шт.).

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 4.1 Результати дослідження експлуатаційних параметрів термоелектричного модуля

Діапазон робочих температур складає до 330 °C під час тривалої експлуатації та до 400 °C під час короткочасного впливу. Модуль генерує постійний електричний струм, який залежить від перепаду температур на поверхнях модулю (рис. 3.9). При збільшенні перепаду температур вихідна напруга (рис. 3.7, 3.8), потужність (рис. 3.10) та ефективність термоелектричного перетворення (рис. 3.6) зростають. Графітові теплопровідні листи, стійкі до дії високих температур, нанесені на обидві сторони керамічних пластин для забезпечення низькоконтактного теплового опору. Характеристики використаних термоелектричних модулів відповідно до даних їх виробника представлені на рис. 4.1 – 4.5.

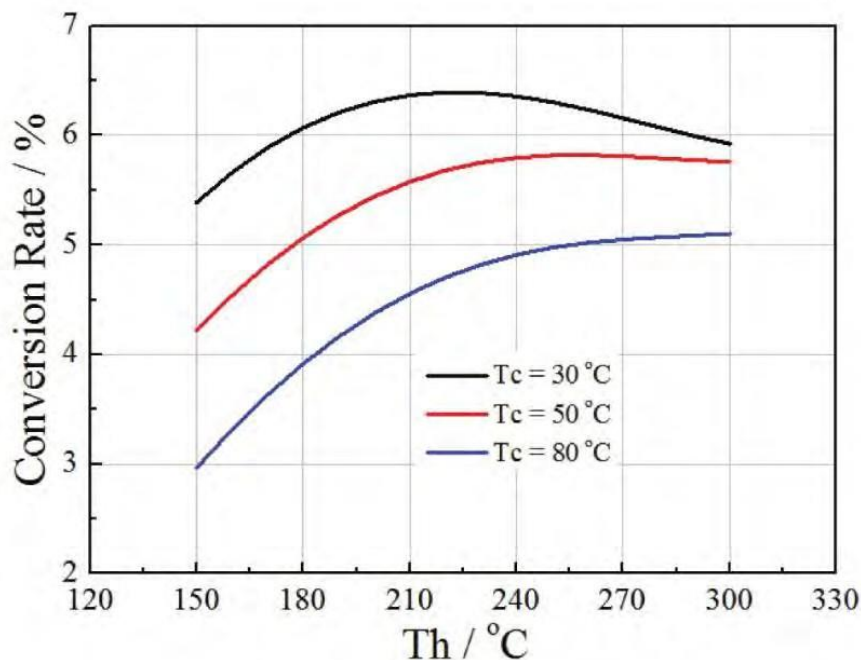


Рисунок 4.1 – Ефективність термоелектричного перетворення в залежності  
перепаду температур модуля

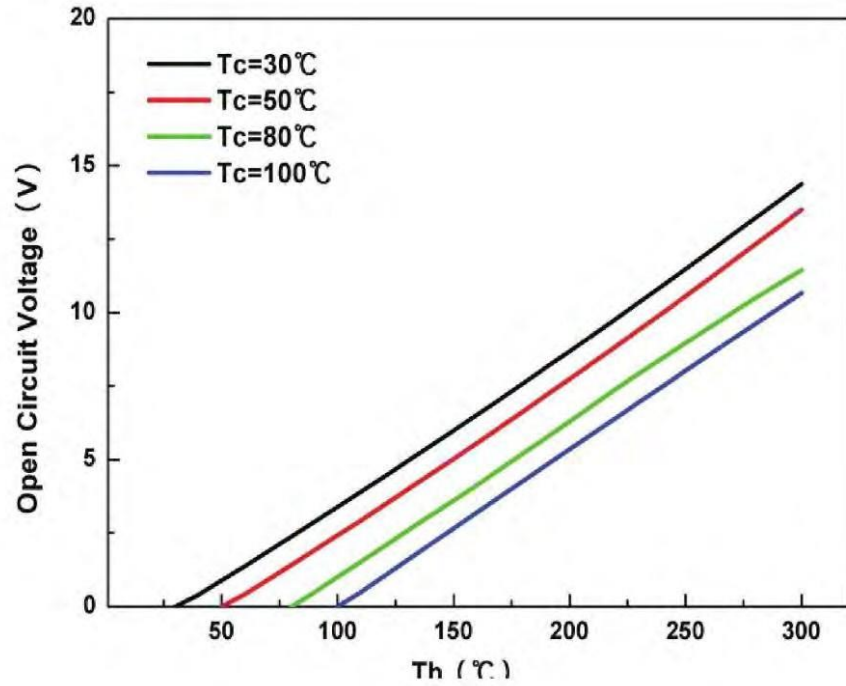


Рисунок 4.2 – Напряга у відкритому контурі (без навантаження) взаємності перепаду температур термоелектричного модуля

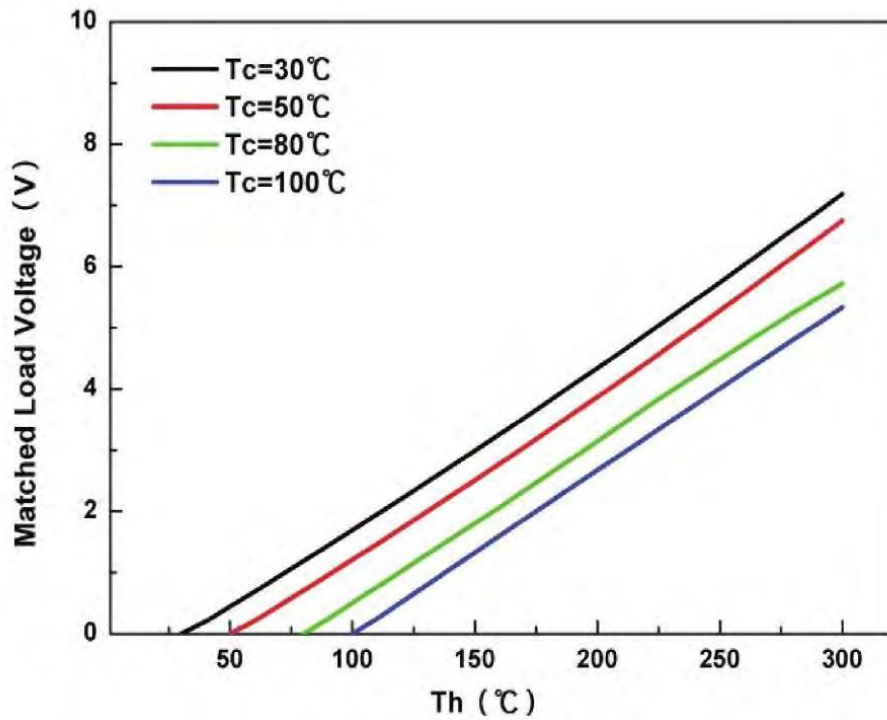


Рисунок 4.3 – Напряга під навантаженням в залежності перепаду температур термоелектричного модуля



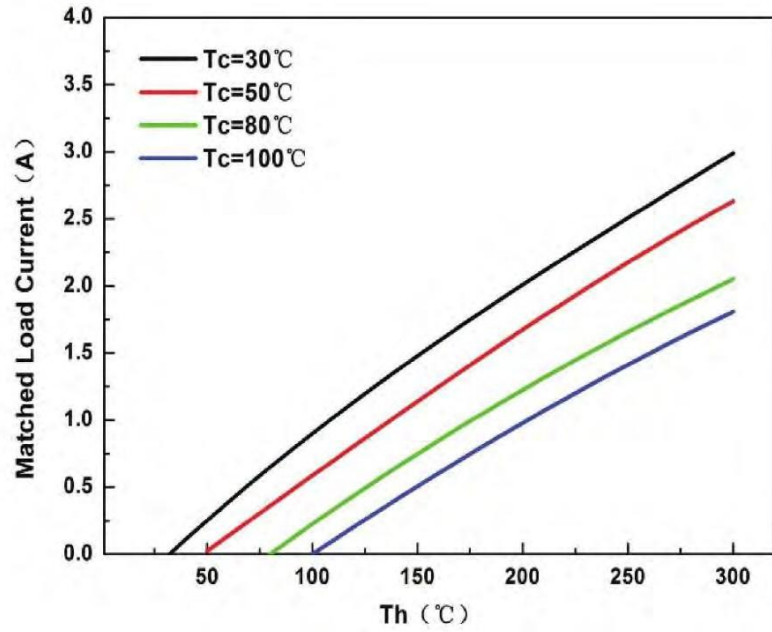


Рисунок 4.4 – Сила струму під навантаженням в залежності перепаду температур термоелектричного модуля

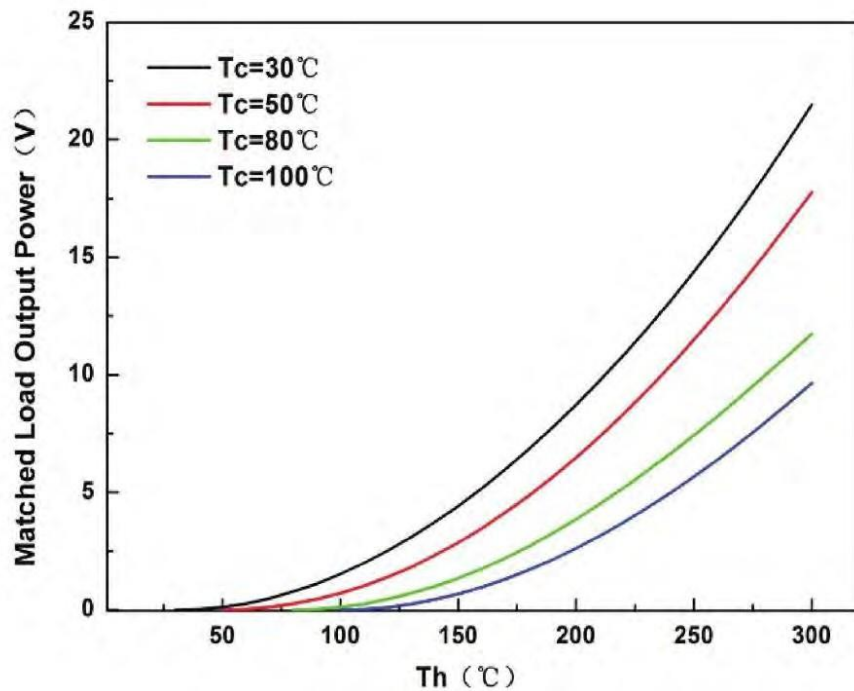


Рисунок 4.5 – Потужність термоелектричного модуля в залежності від перепаду температур

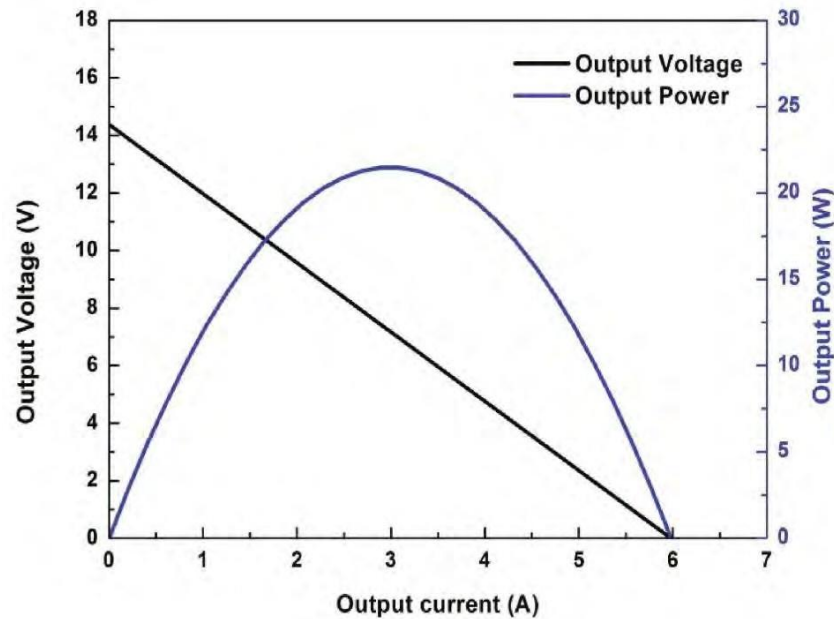


Рисунок 4.6 – Напруга та потужність термоелектричного модуля в залежності від сили струму навантаження при температурах гарячої/холодної поверхонь 300/30 °С

#### 4.2. Результати дослідження екологічної ефективності застосування запропонованої системи додавання водневмісного газу до ДВЗ

Як видно з рисунку 4.7 ефективність термоелектричного перетворення має нелінійну залежність від температур гарячої і холодної поверхонь. Це обумовлюється взаємним впливом характеристик теплопередачі через модуль та вольт-амперних та потужнісних характеристик при різних температурних умовах холодної і гарячої поверхонь (рис. 4.7 – 4.10). При цьому, сила струму навантаження також має певне оптимальне значення при якому може бути отримана максимальна потужність приданому перепаді температур (рис. 4.11). Таким чином, дійсні електричні характеристики та ефективність термоелектричного перетворення будуть значною мірою залежати від конкретних умов використання термоелектричних модулів у складі

термоелектричного генератора в системі випуску двигуна: температури ВГ та їх масової витрати, які залежать від швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна та будуть обумовлювати тепловий потік через термоелектричні модулі та значення температур на їх поверхнях, інтенсивності охолодження холодної поверхні, конструкції теплообмінників [25], [34], [37].

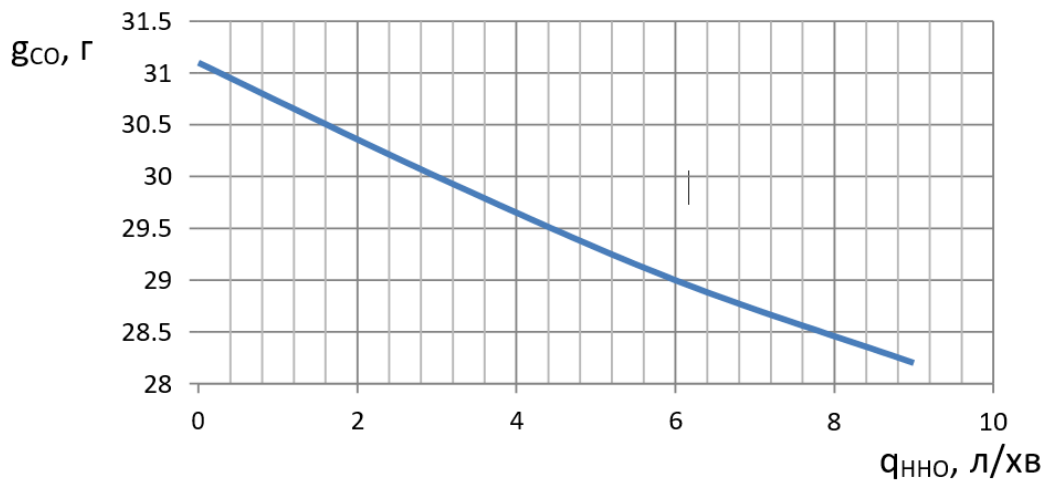


Рисунок 4.7 – Сумарні викиди оксиду вуглецю за цикл в залежності від подачі водневої газової суміші

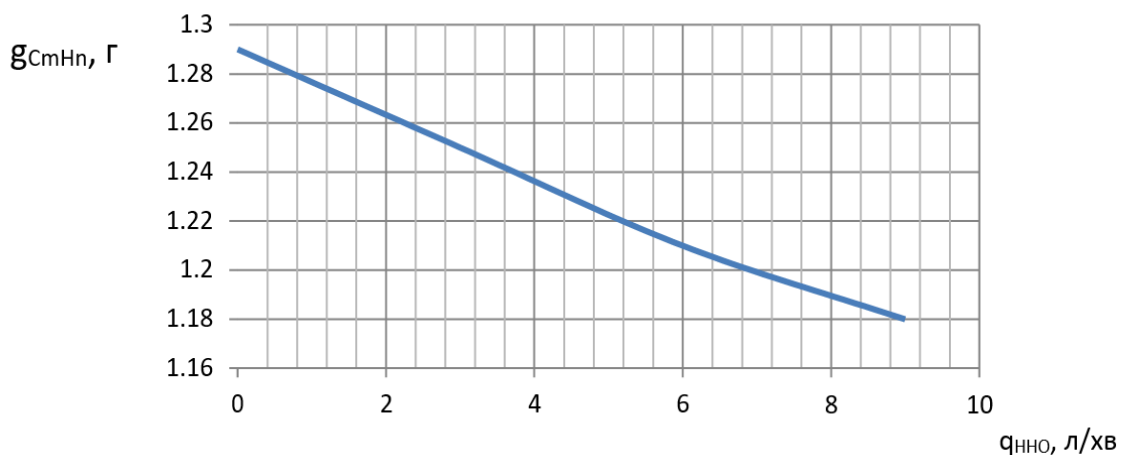


Рисунок 4.8 – Сумарні викиди оксиду вуглецю за цикл в залежності відподачі водневої газової суміші

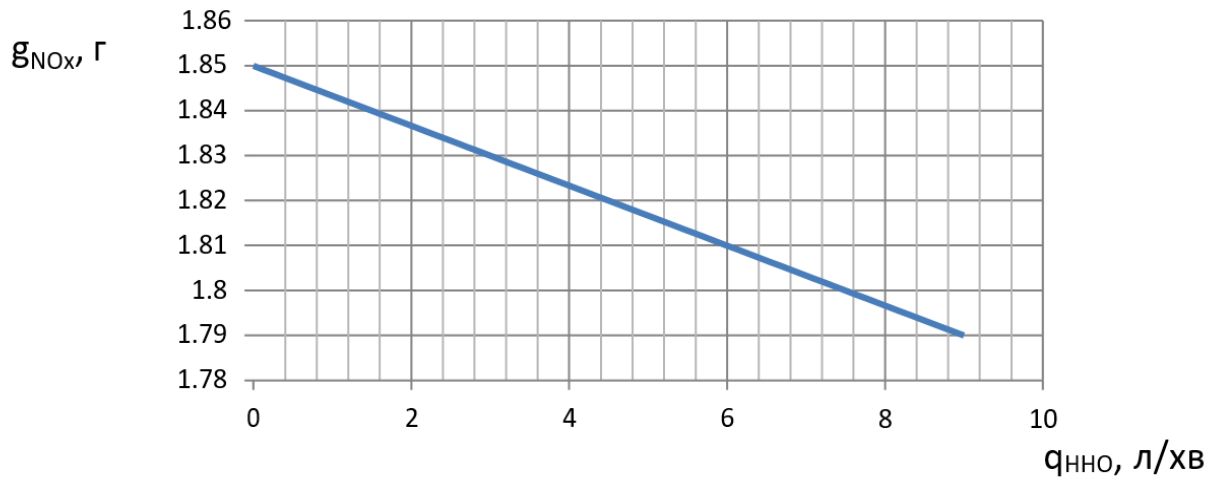


Рисунок 4.9 – Сумарні викиди оксидів азоту за цикл в залежності від подачі водневої газової суміші

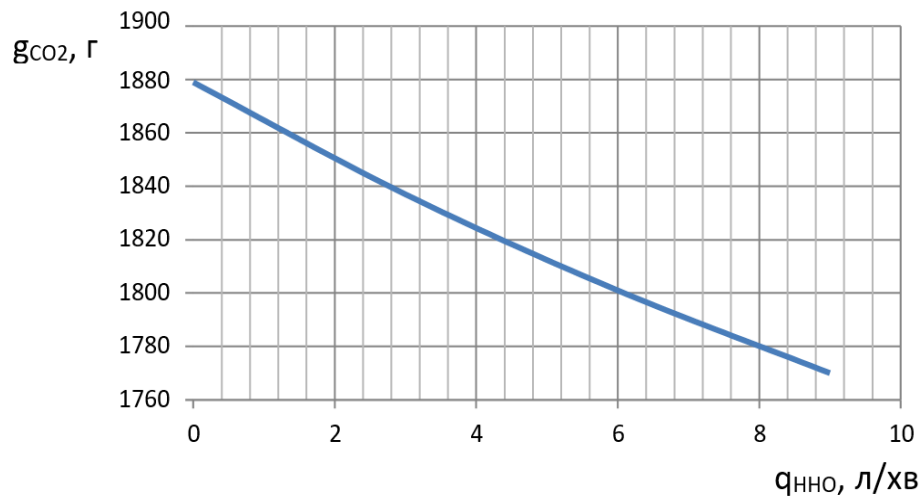


Рисунок 4.10 – Сумарні викиди діоксиду вуглецю за цикл в залежності від подачі водневої газової суміші

Згідно отриманих даних, зі збільшенням концентрації водневмісного газу горіння паливної суміші значно покращується, а у викидах збільшується концентрація водяної пари та кисню. Результати моделювання (рис. 4.6-4.10) свідчать, викиди шкідливих речовин майже лінійно знижуються при збільшенні величини генерування та подачі водню до паливно-повітряної суміші [29].

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. У розділі наведено результати моделювання щодо покращення параметрів паливно-повітряної суміші. Даний ефект досягається за рахунок запропонованої конструкції генератора водневої газової суміші.

2. На відміну від паливних елементів для виробництва електроенергії запропоновано схему генератора, який здійснює подачу водню у впускний колектор двигуна. Для його стабільної роботи необхідно використовувати додаткову акумуляторну батарею для забезпечення енергопостачання генератора газу, її заряджання можна проводити шляхом рекуперації побічної теплової енергії відпрацьованих газів в електричну.

3. Результати досліджень свідчать, що додавання водню до повітря у впускному тракті забезпечує прямопропорційне зниження концентрації міжшкідливих речовин у відпрацьованих газів. За рахунок покращення процесу горіння паливно-повітряної суміші спостерігається зниження споживання основного палива.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗХИСТ ВНАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 5.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників на автомобільному транспорті

На рисунку 4.1 приведена схема небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

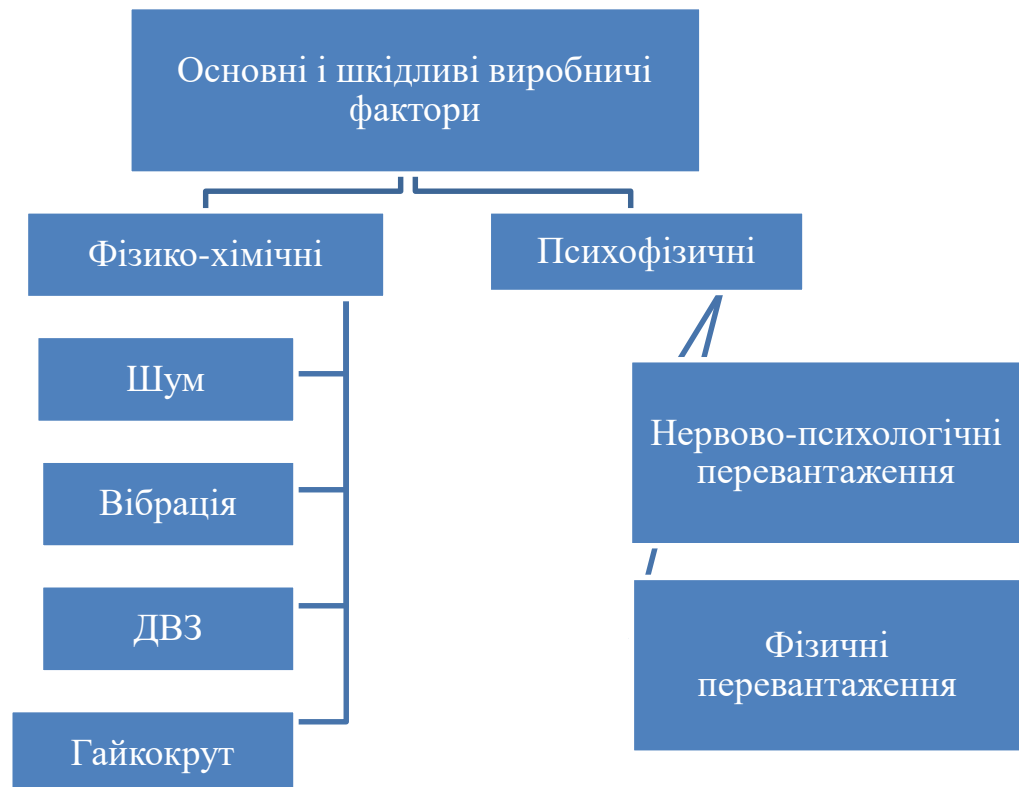


Рисунок 4.1 - Схема небезпечних і шкідливих виробничих чинників

У зоні ТО і ПР важкі умови праці, які чинять на здоров'я людини шкідливу дію. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники в зоні ТО і ПР приведені в таблиці 4.1 [13], [28], [35].

Таблиця 4.1 - Небезпечні і шкідливі виробничі чинники

№ п\п	Найменування НШВЧ	Джерело НШВЧ
I.	Фізичні:	
	Рухомі машини і механізми	Підйомник, рухомі автомобілі
	Підвищена загазованість повітря	Працюючі двигуни автомобілів
	Рухомі частини виробничого обладнання	Підйомник канава, кран підвісний
	Підвищений рівень шуму	Працюючі двигуни автомобілів, гайкокрут
	Підвищений рівень вібрації	Гайкокрут
	Підвищена напруга електричного ланцюга	Усі електроприлади, електропроводка
II.	Хімічні:	
	Загальнотоксичні речовини (свинець, окис вуглецю)	Працюючі двигуни автомобілів
	Дратівливі речовини (оксиди азоту)	
	Канцерогенні речовини (3,4-бензапирен)	
	Мутагенні речовини (свинець)	
	Речовини, що впливають на репродуктивну функцію (свинець)	
III.	Психофізіологічні:	
	Фізичні (статичні) перевантаження	Знаходження в одному положенні при демонтажі вузлів і механізмів
	Перенапруження слухових аналізаторів	Шум працюючого двигуна

Дія небезпечних і шкідливих виробничих чинників на тих, що працюють:

- рухомі машини і механізми. Створюють небезпеку затискання робітника, нанесення йому механічних ушкоджень, травм, каліцтв;

- підвищена загазованість повітря. Викликає отруєння організму, роздратування слизової оболонки очей, верхніх дихальних шляхів. Може викликати захворювання легень (фіброгенна дія);

- рухомі частини виробничого обладнання. Створюють небезпеку отримання серйозних травм, каліцтв, затискання робітника, нанесення йому механічних пошкоджень;

- підвищений рівень шуму. Чинить вплив на серцево-судинну систему, органи слуху, можливе виникнення явища резонансу внутрішніх органів. Викликає стомлюваність, іноді часткову втрату слуху;

- підвищений рівень вібрації. Це явище може викликати віброхворобу (головні болі, безсоння, запаморочення, деформація і збільшення рухливості суглобів і так далі). Можливе виникнення явища резонансу внутрішніх органів. Погіршується вестибулярний апарат, з'являються запаморочення, нудота, блювота;
- підвищена напруга електричного ланцюга. При проходженні через людину електричний струм робить наступні дії:

1. Термічні: опіки, нагрів судин, тканин, нервів і так далі;

2. Електролітичні: розкладання крові і плазми;

3. Біологічні: збудження живих тканин організму, судоми дихання і кровообігу.

- загальнотоксичні речовини. Створюють небезпеку отруєння всього організму;

- дратівливі речовини. Викликають роздратування слизової оболонки, оболонок дихального тракту;

- канцерогенні речовини. Створюють небезпеку виникнення ракових захворювань;

- мутагенні речовини. Впливають на зміну спадкової інформації;

- речовини, що впливають на репродуктивну функцію. Чинять небезпечний вплив на репродуктивну функцію;



- фізичні (статичні) перевантаження. Викликають швидке стомлення, загальну втому;
- перенапруження слухових аналізаторів. Чинить вплив на органи слуху, можливе виникнення явища резонансу внутрішніх органів. Викликає стомлюваність, іноді часткову втрату слуху.

## **5.2 Заходи щодо підвищення пожежної безпеки автотранспортних підприємств**

Пожежна безпека підприємств забезпечується шляхом проведення організаційно-технічних та інших заходів з попередження пожеж, забезпечення безпеки людей, зниження можливих матеріальних збитків, зменшення негативних екологічних наслідків, створення умов для швидкого виклику пожежних підрозділів та успішного гасіння пожеж, а також евакуації з зони виникнення та можливого розповсюдження пожежі людей, документів і матеріальних цінностей.

Особовий склад всіх караулів пожежних частин і підрозділів, які прибувають для гасіння пожежі, не рідше одного разу на рік повинен проходити спеціальний інструктаж з особливостей експлуатації енергетичних установок та техніки безпеки при пожежах.

Інструктаж проводиться інженерно-технічним персоналом об'єкта за узгодженою програмою.

Енергетичні об'єкти виготовляють в необхідній кількості пристосування для заземлення пожежних стволів, піногенераторів і насосів пожежних машин з гнучкого мідного голого проводу перерізом не менше 25 мм<sup>2</sup>, які забезпечуються спеціальними струбцинами для з'єднання з заземленими конструкціями (гідрантами водогінної мережі, металевими опорами повітряних ліній електропередач, обсадними трубами артезіанських свердловин тощо).



Дано:  $t = 1,6$  м;  $l = 1,2$  м;  $d = 0,06$  м;

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) = \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 1,2} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 1,2}{0,06} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,6 + 1}{4 \cdot 1,6 - 1} \right) = 15,3 \quad (4.1)$$

$R_1 = 15,3$  Ом.

Необхідна кількість заземлювачів  $n$ , шт.:

$$n = R_1 / R_{\text{д}} = 15,3 / 4 = 3,83 \approx 4 \quad (4.2)$$

Довжина горизонтального електроду  $l$ , м, при довжині 1,2 м:

$$l = 1,05 \cdot m \cdot n, \quad (4.3)$$

$$l = 1,05 \cdot 1,2 \cdot 4 = 5,04 \text{ (м)}.$$

Опір розтіканню струму горизонтального електроду представлений на рисунку 4.3.

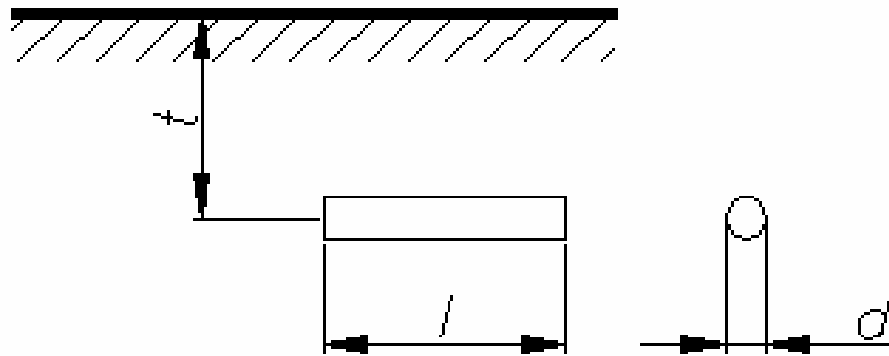


Рисунок 4.3 - Опір розтіканню струму горизонтального електроду

Дано:  $t = 1$  м;  $l = 5,04$  м;  $d = 0,5$  м;

$$R_I = \frac{R_1 \cdot R_{\Gamma}}{R_1 \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot n \cdot \eta_E} = \frac{15,3 \cdot 3,72}{15,3 \cdot 0,45 + 3,72 \cdot 4 \cdot 0,69} = 3,32 \text{ (Ом)} \quad (4.4)$$

$R_I = 3,32$  Ом;

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{l^2}{d \cdot t} \right) = \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 5,04} \cdot \left( \ln \frac{5,04^2}{0,5 \cdot 1} \right) = 3,72 \text{ (Ом)} \quad (4.5)$$

$R_{\Gamma} = 3,72$  Ом.

$\eta_E = 0,69$ ;  $\eta_{\Gamma} = 0,45$ .

$R_I < R_{\Gamma}$ .

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5**

1. У розділі розглянуто заходи з підвищення безпеки праці, проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час робіт з ремонту та обслуговування ходових частин автомобілів. Розраховано параметри контура захисного заземлення ділянки з ремонту ходової частини.

## **РОЗДІЛ 6**

### **РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

#### **ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ**

##### **6.1 Розрахунок техніко-економічних показників автомобіля під час його експлуатації на різних видах альтернативних палив**

На сьогодні існує постійно зростаюча потреба в ефективному управлінні ресурсами автотранспортних підприємств, що сприяє не тільки їх економічній стійкості, але й активному розвитку та збільшення доходів держави через фіскальні відрахування та інвестиції. Визначальним показником ефективності для будь-якого підприємства є прибуток, від комерційної діяльності. Тому накопичення більшого обсягу прибутку за рахунок зниження використання ресурсів або ж їх вартості – оптимальний напрям розвитку підприємства.. Економне використання ресурсів впливає на собівартість продукції (в даному випадку перевезення) через зниження її фондомісткості, матеріаломісткості і трудомісткості, а значить і збільшує прибутковість підприємства. Одним з напрямів зниження вартості транспортних послуг є перехід на альтернативні, більш дешеві види палива, тим більше, що в даній ситуації спостерігається не тільки економічний але й екологічний ефект [14], [22], [23].

Зацікавленість в альтернативних видах палива пов'язана зі збільшенням екологічних проблем, що виникають в результаті експлуатації автомобілів. Серед традиційних викопних палив для двигунів внутрішнього згорання найбільш широкого застосування отримав стиснений природний газ (СПГ). Це газ природного походження, отриманий зрідженням його в установках компресорного типу. На сьогодні такий тип палива є найбільш дешевою і екологічною заміною традиційних видів палива [11].

Для того, щоб використовувати альтернативні види газових палив, необхідно переобладнати автомобіль встановивши спеціалізоване газобалонне обладнання (ГБО) - дозуючу систему, яка інтегрується до існуючої системи живлення. Це дає змогу повноцінно використовувати автомобіль на двох

видах палива. Станом на сьогодні на ринку України представлено значну кількість інноваційних розробок, однак їх ефективність належними чином не вивчена (6.1).



Рисунок 6.1 – Монтажний комплект для встановлення установки для генерування водневмісного газу

Ефектом від генерування водневмісного газу найперше є збільшення потужності та крутного моменту двигуна. Система виробляє та подає у камеру згоряння водневмісний газ, завдяки чому покращується ефективність двигуна, збільшується ресурс, вирівнюється компресія, очищується двигун від вуглецевих відкладень: система розкоксовує компресійні кільця, очищує каталізатор, сажовий фільтр, поршні та поршневі кільця, випускний колектор, свічки запалювання, форсунки, датчик кисню (лямбда зонд) та рециркуляційний клапан EGR.

Також система очищує вихлопні газу: вміст чадного газу і вуглеводнів зменшується у 1,5 рази, оксидів нітрогену – до 5 разів. Це збільшує ресурс фільтра сажі на 33%.

Через повітряний патрубок у камеру згоряння подається воднево-киснева суміш – газ Брауна. Ця суміш не накопичується і не зберігається, а одразу згоряє разом з основним паливом.

Питома теплота згоряння бензину –10500 ккал, дизелю – 10300 ккал. А от водню – 28700 ккал. Автомобілі з двигуном внутрішнього згоряння, які працюють на бензині, дизелі чи газі, можна збагатити водневою сумішшю. Це не змінить основного типу пального автомобіля, але може зменшити його витрати до 18%, або 1-2 л на 100 км.

Бензин чи дизель мають великі проміжки між молекулами, більшість енергії йде не на ходові властивості автомобіля, а на поширення іскри в камері згоряння. Воднева система шляхом електролізу під дією електричного струму дисоціює молекули води  $H_2O$  на водень  $H_2$  і кисень  $O_2$ . Водень заповнює цю відстань і горіння відбувається у 10 разів швидше. Це підвищує ефективність роботи та ККД двигуна.

$$E_p = ((Z_3^a - Z_3^b) \cdot P_n, \text{ грн.}, \quad (6.1)$$

де  $Z_3^a, Z_3^b$  – відповідні зведені затрати на 1 кілометр пробігу під час експлуатації автомобіля на альтернативному та базовому паливі;

$P_n$  – пробіг автомобіля протягом звітного року, км.

Тоді загальні приведені експлуатаційні витрати  $P_e$ , що пов'язані експлуатацією автомобіля визначаються:

$$P_e = Z_{нмм} + Z_{он} + Z_{рен} + Z_{ТОР}, \quad (6.2)$$

де  $Z_{нмм}$  – питомі експлуатаційні затрати на паливо-мастильні матеріали та інші експлуатаційні матеріали, грн/км;

$Z_{он}$  – питомі експлуатаційні затрати на заробітну працю водія, грн/км;

$Z_{рен}$  – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з амортизацією та оновленням автомобільної техніки, грн/км;

$Z_{ТОР}$  – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з технічним обслуговуванням та ремонтом автомобіля, грн/км.

Питомі витрати на оплату праці водія у перерахунку на 1 км пробігу становлять:

$$Z_{оп} = \frac{n \cdot \tau_{год} \cdot k_{допл}}{W_n}, \text{ грн/км}, \quad (6.3)$$

де  $n$  – кількість водіїв залучених до експлуатації автомобіля, люд;

$\tau_{год}$  – погодинна оплата праці водія, грн/км;

$W_n$  – розрахунковий пробіг автомобіля протягом однієї години, км;

$k_{допл}$  – коефіцієнт, що враховує надбавки до оплати праці водія.

Споживана кількість пального у перерахунку на 1 км пробігу автомобіля визначають з формули:

$$Z_{пмм} = q_{пмм} \cdot C_{пмм}, \quad (6.4)$$

де  $q_{пмм}$  – споживання пального на 1 км пробігу автомобіля, л/км;

$C_{пмм}$  – вартість 1 літра палива, грн.

Питомі експлуатаційні затрати на амортизацією та оновлення автомобіля:

$$Z_{рен} = \frac{B_a \cdot k_p}{W_{год} \cdot T_n}, \text{ грн/км}, \quad (6.5)$$

де  $k_p$  – нормативний коефіцієнт відрахувань протягом звітного року, %;

$T_n$  – середній прогнозований річний пробіг автомобіля, км;

$B_a$  – залишкова балансова вартість автомобіля, грн.;

Питомі експлуатаційні затрати на технічне обслуговуванням та ремонт автомобільної техніки обчислюють:

$$Z_{ТОРрем} = \frac{B_m \cdot (k_{н.р} + k_{к.р})}{W_{год} \cdot T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (6.6)$$

де  $k_{н.р}$ ,  $k_{к.р}$  – нормативні коефіцієнти відрахувань на поточний ремонт і капітальний ремонт, а також технічне обслуговування автомобільної техніки.

У таблиці 6.1 наведено вихідні дані для розрахунку економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля з газобалонним обладнанням [23].



Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники експлуатації автомобіля оснащеного газобалонним обладнанням

Показник	Одиниці вимірювання	Дизель	Водне-вмісна газова суміш
Годинна продуктивність автомобіля	т.км/год	1	1
Балансова вартість автомобіля	грн	250000	288000
Середньорічний виробіток	тис. т.км	300	300
Чисельність обслуговуючого персоналу	чол		
основного		1	1
допоміжного		-	-
Годинні тарифні ставки	грн/люд·год		
основного		50	50
допоміжного		-	-
Коефіцієнт, що врах доплати	–		
основного		1,05	1,05
допоміжного		-	-
Коефіцієнт відрахувань на реновацію машини (машин)	–	0,27	0,29
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування машини (машин)	–	0,16	0,16
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	–	0,2	0,2
Витрата ПММ на одиницю роботи	кг/км	18	17,8
Вартість 1 кг палива	грн	57	57
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень		0,15	

Використавши формули 6.1-6.9 проведено розрахунок економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля з газобалонним обладнанням, а результати наведено у таблиці 6.2. Для використання інших альтернативних видів палива необхідне додаткове обладнання та введення в експлуатацію, що ведуть до деяких капітальних вкладень. В даному випадку капітальні вкладення пов'язані з придбанням, встановленням та введенням експлуатацію комплексу ГБО можна розрахувати:

Таблиця 6.2 – Результати розрахунків економічної ефективності від експлуатації автомобіля оснащеного водневим генератором

Показник	Одиниці вимірювання	Дизель	Водневмісна газова суміш
Річне напрацювання	тис.т.км	300,0	300,0
Прямі затрати на:	грн/т.км		
оплату праці		52,500	52,500
ПММ		1026,000	1014,600
ТО, пот. і кап. рем.		300,000	345,600
реновацію		225,000	278,400
Всього прямих затрат	грн/т.км	1603,500	1691,100
Капітальні вкладення	грн/т.км	833,333	960,000
Зведені затрати	грн/т.км	1728,500	1835,100
Річний економічний ефект	грн		31980,000
Затрати праці	люд·год/т.км	1,00	1,00
Економія експл. витрат за рік	грн		31980,00
Ступінь зменшення затрат на:	%		
оплату праці			0,000
прямих затрат			5,180
зведених затрат			13,194
капіталовкладень			5,809
Термін окупності машини	роки		1,19

$$K_{\text{кап.вкл}} = \frac{B_a}{W_{\text{год}} \cdot T_n} \quad (6.7)$$

Тоді можна розрахувати загальні витрати  $Z_3$  у перерахунку на 1 кілометр пробігу автомобіля:

$$Z_3 = \Pi_3 + K_{\text{кап.вкл}} \cdot k_{\text{еф.кап.вкл}}, \quad (6.8)$$

де  $k_{\text{еф.кап.вкл}}$  – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень для переведення автомобіля на використання зрідженого газу.

Зниження приведених експлуатаційних затрат можливе лише за умови зменшення вартості одного із її складових (зменшення витрати пального або його вартості, підвищення продуктивності й технічної швидкості, затрат на технічне обслуговування, тощо:

$$E_{\text{екс.витр}} = (Z_3^{nl} - Z_3^{nd}) \cdot T_p, \text{ грн}, \quad (6.9)$$

Відповідно до результатів розрахунку економічної ефективності від експлуатації автомобіля з оснащеного газобалонним обладнанням з'ясовано, що відбувається значне зниження прямих експлуатаційних затрат. Відбувається це в основному за рахунок нижчої ціни на газове паливо. Зокрема встановлено, що за однакового пробігу прямі затрати на експлуатацію автомобіля з ГБО знижуються зведені затрати на 13,194 %, річний економічний ефект становить 31980 грн., а термін окупності – 1,19 років.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 6

1. Економічний ефект від використання генератора водню досягається завдяки його фізико-хімічними властивостям, наприклад, питома теплота згоряння бензину –10400 ккал, дизелю – 10200 ккал, тоді як водню – 29100 ккал. Додаткове використання водню у паливно-повітряній суміші сприяє зменшенню витрати основного палива на 2...8 %.

2. Екологічний ефект від використання в водню досягається завдяки великій щільності газу бензин або дизель згоряє більш якісно з виділенням значної кількості тепла, що забезпечує більшу щільність енергії.

Водневий генератор виготовляє горючий газ завдяки електролізу води під дією електричного струму, за рахунок чого виділяється водень  $H_2$  і кисень  $O_2$ .

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Проведено статистичний аналіз загальної кількості, структури та віку транспортних парків різних держав. Наведено питомі показники рівня забезпеченості автомобілями на душу населення.

2. Проаналізовано затрати ресурсів те енергії, безпосередній та опосередкований негативний вплив автомобілів на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу, досліджено альтернативні технології генерування та зберігання потенційної тягової енергії автомобілями.

3. Здійснено аналіз енергетичної ефективності різних технологій та реалізації альтернативних силових установок автомобілів, наведено фізичні та хімічні характеристики горючих паливних сумішей.

4 Проведено моделювання щодо покращення параметрів паливно-повітряної суміші. Даний ефект досягається за рахунок запропонованої конструкції генератора водневої газової суміші. Для його стабільної роботи необхідно використовувати додаткову акумуляторну батарею для забезпечення енергопостачання генератора газу, її постійний заряд можна проводити шляхом рекуперації побічної теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ в електричну.

5. Результати досліджень свідчать, що додавання водню до повітря у впускному тракті забезпечує прямопропорційне зниження концентрації міжшкідливих речовин у відпрацьованих газів. За рахунок покращення процесу горіння паливно-повітряної суміші спостерігається зниження споживання основного палива.

6. Економічний ефект від використання генератора водню досягається завдяки його фізико-хімічними властивостям, наприклад, питома теплота згорання бензину –10400 ккал, дизелю – 10200 ккал, тоді як водню – 29100 ккал. Додаткове використання водню у паливно-повітряній суміші сприяє зменшенню витрати основного палива на 2...8 %.

7. Екологічний ефект від використання в водню досягається завдяки великій щільності газу бензин або дизель згоряє більш якісно з виділенням значної кількості тепла, що забезпечує більшу щільність енергії. Водневий генератор виготовляє горючий газ завдяки електролізу води під дією електричного струму, за рахунок чого виділяється водень  $H_2$  і кисень  $O_2$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bertuccioli, L., Chan, A., Hart, D., Lehner, F., Madden, B., & Standen, E. (2014). Study on development of water electrolysis in the EU. Retrieved from <https://www.fch.europa.eu/node/783>.
2. Blanco, S. Toyota, Kenworth Expand Hydrogen Semi-Truck Push At Los Angeles Ports. Forbes. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/sebastianblanco/> 2019/04/23/toyotakenworth-expand-hydrogen-semi-truck-push-at-los-angeles-ports/#3a4220e8d762.
3. Bovee K., A. Hyde, M. Yatsko, M. Yard, et al., "Refinement of a Parallel-Series PHEV for Year 3 of the EcoCAR 2 Competition," SAE Technical Paper 2014-01-2908, 2014.
4. Driving the Future. Driveline Technology In Modern Trucks. [Електронний ресурс]. Friedrichshafen: ZF Friedrichshafen AG, 2011. 31 p. Режим доступу: [www.zf.com](http://www.zf.com).
5. Geurts D., M. Schreurs, B. Petetr. Mananing Euro 1V: Cost Effective Solution for Emission Busting Technology. Engine Technology International. 1998. Vol. 2. P. 23–26.
6. Heiing B. Fahrwerkhandbuch: Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven. / Bernd Heiing, Metin Ersoy (Hrsg). – Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag : GWV Fachverlage GmbH, 2007. – 591 p.
7. Krahl, J. Fuel economy and environmental charecteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines/ J. Krahl, A. Munack, O. Schroder, A. Hassaneen // Landbauforschung Volk-enrode. – 2005. – Vol. 55, Nr. 2. – P. 72–79.
8. Lee J. Interfacial Forces between Tireand Snow under Different Snow Depths [Електронний ресурс] / J.Lee, Q. Liu // SAE WorldCongress. 2006. № 1. P. 19. Режим доступу до журн. <http://papers.sae.org/2006-01-0496/>

9. Products and services mobility [Електронний ресурс] : Режим доступу: [www https://ua.bosch-automotive.com/uk/parts\\_and\\_accessories/motor\\_and\\_systems/diesel/engine\\_management\\_2/engine\\_control\\_unit\\_1](http://www.https://ua.bosch-automotive.com/uk/parts_and_accessories/motor_and_systems/diesel/engine_management_2/engine_control_unit_1).

10. Schacht E., B. Bezaire, B. Cooley, K. Bayar, et al., "Addressing Drivability in an Extended Range Electric Vehicle Running an Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS)," SAE Technical Paper 2011-01-0911, 2011.

11. Torchio, M. F., & Santarelli, M. G. (2010). Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs – European market analysis. *Energy*, 35 (10), 4156–4171.

12. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. К.: Арістей, 2004. 476 с.

13. Безпека життєдіяльності [Текст] : підруч. для студ. с.-г. вузів / І. П. Пістун [та ін.]. Львів : Світ, 1995. 288 с

14. Боярко І. М. Інвестиційний аналіз : [навч. посіб.] / Боярко І.М., Гриценко Л.Л. К.: Центр учбової літератури, 2011. 400 с.

15. Говорун А.Г., Скорченко В.Ф., Хедолій М.М. Транспорт і навколишнє середовище. К.: Урожай, 1992. 144 с.

16. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт. К.: Арістей, 2006 348 с.

17. Гутаревич, Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: навч. пос. / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун, О. А. Корпач, Л. П. Мержиєвська та ін. . К.: Арістей, 2006. 292 с.

18. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах.Т.5. Екологізація ДВЗ / за ред. проф. А. П. Марченко, проф. А. Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. 360 с.

19. Директива 96/96 ЄС від 20.12.1996 р "Про прийняття єдиних приписів для країн-членів Співтовариства щодо технічного нагляду транспортних засобів і причепів".

20. ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу транспортних засобів категорій М N та О стосовно гальмування: Правила ЄЕК ООН № 13. [Чинні від 14.01.2008]. Женева: Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних націй, 2008. 276 с.
21. Зельдович Б.Я., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. М.: Наука, 1947. 146 с.
22. Кавецький В. В., Козловський В.О., Причепа І. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень. Практикум : [навч. посіб.] / Вінниця: ВНТУ, 2013. 113 с.
23. Кальченко А. Г. Логістика: Підручник. К.: КНЕУ, 2003. 284 с.
24. Канило, П. М., Сарапина М. В. Интегральные еколого-химические показатели автомобилей с поршневыми двигателями. *Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. ХНАДУ*. 2007. С. 68–74.
25. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. К., 2006. 300 с.
26. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління. К.: Знання-Прес, 2004. 478 с..
27. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобілів. Львів: Львівська політехніка, 2004. 168 с.
28. Методичні рекомендації з питань безпеки автомобільних перевезень від 19.09.2003. К.: Державний Департамент автомобільного транспорту, 2003. №11. 23 с.
29. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. К.: Наук, думка, 1984. 143 с.
30. Міляєв Ю. П., Нечипоренко О.М. Основи надійності технічних систем: навч. посіб. К.: Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2008. 246 с.
31. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан, перспективи. *Автошляховик України*. № 4. 2001. С. 2-9.
32. Редзюк, А. М. Перевірка технічного стану колісних транспортних засобів: Норми міжнародних договорів України та права Європейського



Союзу / А. М. Редзюк, В. Б. Агєєв, В. В. Мержиєвський та ін. К.: ДП «Державто-трансНДПроект», 2008. 536 с.

33. Северин Л.І., Петрук В. Г., Безвозюк І.І., Васильківський І.В. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.

34. Столярєнко Г.С. Екологічні аспекти вирішення проблеми зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. Екологічний вісник. 2005. № 3. С. 7-10.

35. Типове положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті // Перевізник. Червень, 2004. №7. С 18-20.

36. Щелкунов В. І. Основи економіки транспорту : підручник / Кулаєв Ю. Ф., Зайончик Л. Г., Загорулько В. М. [та ін.]. К. : Кондор, 2011. 392 с.

37. Яценко, О.В. Комплексная оценка токсичности транспортных двигателей внутреннего сгорания: система детальных математических моделей и результаты вычислительного эксперимента [Текст] / О.В. Яценко, Е.Н. Ладоса, С.Н. Холодова // Известия вузов. Машиностроение. 2006. С. 36-46.