

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.372-027.45

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

Вячеслав БРАТЦЬКО
(ім'я, прізвище)

(підпис)

«___» _____ 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту ім. М.П.Момотенка

Іван ВОГОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

(підпис)

«___» _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення тест-контролю багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів»

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Валерій ВОЙТЮК
(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Іван РОГОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

Виконав:

(підпис)

Іван ІЛЛЯШЕНКО
(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка _____

д.т.н., проф. Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Миколі Бовсуновському
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Удосконалення тест-контролю багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» грудня 2022 р. № 1944 «Є»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах з безпеки дорожнього руху

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання досліджень, мета, задачі дослідження гібридних автомобілів
2. Теоретичне вивчення впливу параметрів тест-контролю багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів
3. Методика та конфігурація багаторежимного гібридного автомобіля
4. Результати експериментальних досліджень к параметрів тест-контролю багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Іван ІЛЛЯШЕНКО
(підпис) (ім'я прізвище)

ЗМІСТ

НУБІП України	
ВСТУП.....	3
1 АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ.....	6
1.1 Позначення гібрида.....	6
1.2 Структура та робота гібридного автомобіля.....	7
1.3 Типи гібридів.....	10
1.4 Класифікація за типом батарей.....	17
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РОЗРОБОК ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У АВТОМОБІЛЬБУДУВАННІ.....	23
2.1 Аналіз існуючих енергозберігаючих технологій.....	23
2.2 Електричні транспортні засоби.....	28
2.3 Гібридні транспортні засоби на електриці.....	32
2.4 Гібридні транспортні засоби на паливних елементах.....	34
2.5 Конфігурація гібридного багаторежимного силового агрегату.....	37
2.6 Інструменти моделювання.....	42
2.7 Узагальнення проведеного аналізу.....	42
3 Аналіз циклів моделювання та оптимізації гібридних силових агрегатів автомобілів.....	45
3.1 Моделювання гібридного транспортного засобу.....	45
3.2 Моделювання систем паливних елементів.....	55
3.3 Дослідження систем паливних елементів.....	57
3.4 Рекомендації щодо застосування багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів та способів їх моделювання.....	61
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
НУБІП України	

ВСТУП

НУБІП України

У наші дні при стабільному зростанні кількості різних автомобілів і необхідності постійної забезпеченості енергетичними ресурсами, все більшої актуальності набуває проблема зниження витрати палива і поліпшення здатності

НУБІП України

контролювати його витрату при експлуатації автомобіля. Споживання такого ресурсу, як паливо, залежить від багатьох факторів. Мають значення транспортні умови, клімат та якість дорожніх покриттів та, нарешті, характер експлуатації

НУБІП України

автотранспорту. Можна з упевненістю сказати, що дорожнє покриття, з властивими йому елементами профілю та плануванням, а також особливостями місцевості мають основний, з усіх наведених факторів, вплив на ефективність використання паливних ресурсів. Методичні та нормативна документація

НУБІП України

визначають допустимий рівень паливних витрат під час руху транспортного засобу. Але дані нормативи регламентують лише витрата на рівних дорогах, які не часто зустрічаються в дорожній мережі України. Переважна частина дорожнього покриття України забудована дорогами з великою кількістю ям та нерівностей.

НУБІП України

Коли транспортний засіб рухається за вибоїстим дорожнім покриттям, потрібна додаткова потужність для того, щоб їхати по всіх нерівностях, зберігаючи задану швидкість. Ця ситуація веде до збільшення паливної витрати або, простіше кажучи, до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД).

НУБІП України

Актуальність цієї проблеми може бути обґрунтована, наприклад, собівартістю вантажоперевезень за допомогою автотранспорту, особливо якщо взяти до уваги той факт, що вартість паливної сировини неухильно стає вищою.

НУБІП України

Найближчими роками, обіцяють виробники, асортимент основних сегментів європейського авторинку поповниться за рахунок новачків – гібридних автомобілів останнього покоління. Йдеться про транспорт, оснащений одночасно двигуном внутрішнього згорання та електричним мотором.

Безперечною перевагою автомобіля з гібридним приводом - його менша, у порівнянні з традиційною трансмісією, витрата палива. Це відбувається завдяки можливості акумулювати та використовувати надалі енергію гальмування

(рекуперация). При гальмуванні електротрансмсія машини перетворюється на режим генератора і починає рекуперувати енергію гальмування. Отримана таким чином електроенергія надходить до акумуляторної батареї (АКБ) і зберігається для подальшого використання. Цей процес настає при розгоні машини, коли гібридний автомобіль прискорюють одночасно дизель і електромотор. Під час руху на малих швидкостях, при маневруванні або трафіку машина може пересуватися на одному електромоторі. Підсумком впровадження в автомобіль такого досить складного гібридного приводу стає помітна економія палива, яка в різних моделях коливається від 25 до 50%.

Гібридна тема за останні роки набула досить широкого поширення. Досвідчені зразки з комбінованим приводом створили та випустили переважну більшість світових автовиробників. Багато хто почав навіть дрібносерійний випуск. Звичайно, загальний світовий випуск гібридних комерційних автомобілів та автобусів на сьогоднішній день не перевищив поки що позначки 10000 одиниць. Але аналітики американської дослідницької компанії Frost & Sullivan стверджують, що автогібриди переважатимуть на наших дорогах вже до 2020 року. Це насамперед стосується міських автобусів, а також середньотоннажних розвізних та важких комунальних вантажівок. Аналізуючи причини, чому гібриди стануть популярними у споживачів найближчим часом, фахівці ринку вказали на три основні фактори: урбанізація міст, що підвищується, збільшення інтенсивності вантажоперевезень, а також тенденція зростання вартості палива, що зберігається.

Популярність гібридних комерційних автомобілів поки що не помітна.

Гібриди чудово демонструють свої переваги на вулицях мегаполісів, там, де їм доводиться дуже часто розганятися та гальмувати. У розвізних гібридних транспортних засобах, що працюють у містах з частими розгонами та гальмуваннями, економія палива сягає 25-35%.

Важливим моментом застосування гібридної технології стає збереження корисного навантаження транспортного засобу. Адже споряджена маса комерційного автомобіля трохи зростає після того, як його основний ДВЗ буде агрегатований з електротрансмсією та пов'язаним із нею важким блоком

аккумуляторних батарей. ДВЗ-електричні гібридні приводи можуть регенерувати лише 25% енергії гальмування. Цей незначний відсоток обумовлений небажанням автовиробників встановлювати ємніші батареї в гібридний автомобіль. Якщо змонтувати ємні АКБ, то різко зменшиться вантажопідйомність машини, а ціна ще зросте. Тому конструкторам гібридних вантажівок завжди потрібно шукати компроміс між економічністю, вартістю і збереженням корисного навантаження [1].

Істотне подорожчання автомобіля – це дуже важливий аспект, який сьогодні супроводжує всі гібридні транспортні засоби. Аналітики вважають, що з розвитком нового автомобільного напрямку вдасться знизити ціну, хоча зростання популярності гібридної технології в результаті залежатиме від вартості палива та впровадження більш ефективних приводів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

Гібридний автомобіль (Hybrid vehicle) - транспортний засіб, що рухається за допомогою силової установки, відмінною особливістю якої є використання двох джерел енергії та відповідним їм двигунів, що перетворюють енергію на механічну роботу.

1.1 Позначення гібрида

Як відрізнити гібрид від звичайного автомобіля На корпусі автомобіля є позначення в різних місцях: в задній частині автомобіля (кришка багажника, задні двері), двері водія, ліве, праве переднє крило, інвертор (див. Рис 1.1).



Рис. 1.1 Способи позначення гібридних автомобілів

1.2 Структура та робота гібридного автомобіля

Основні компоненти гібридного автомобіля на прикладі Toyota Prius [2]
показано на рисунку 1.2

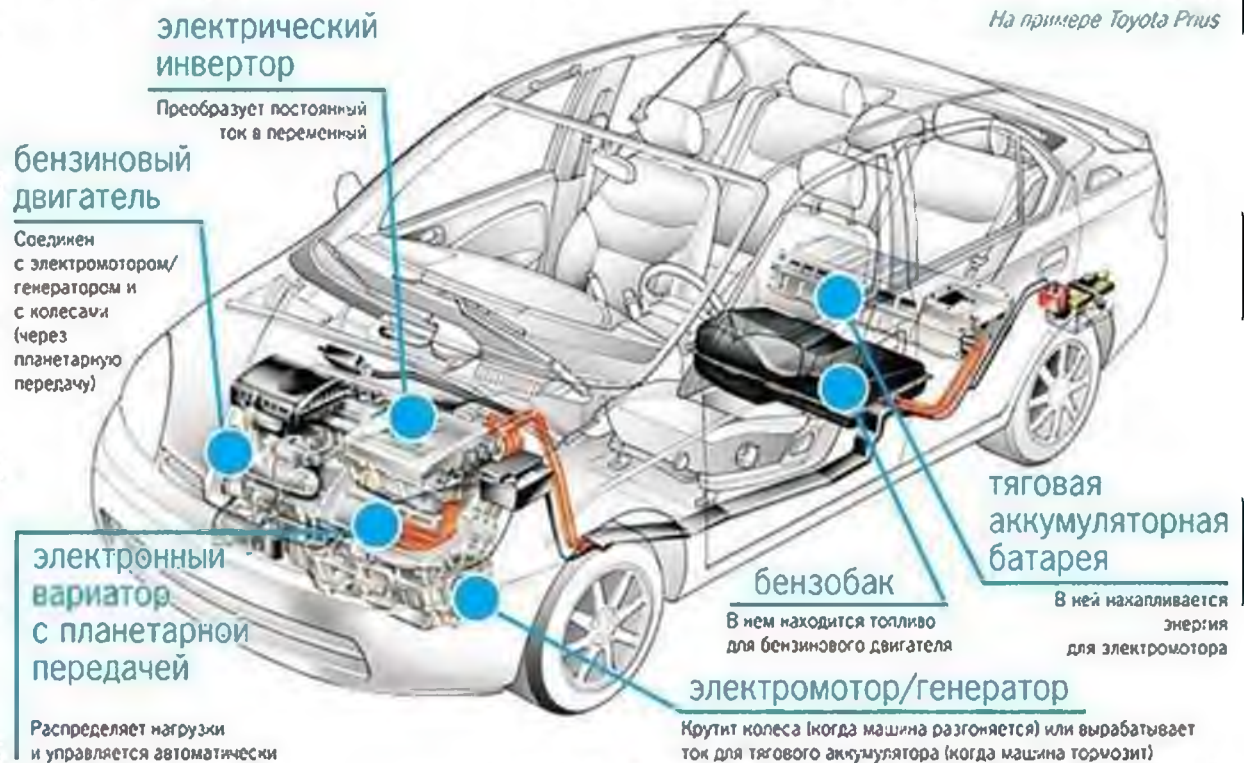


Рис. 1.2 Основні компоненти гібридного автомобіля на прикладі Toyota Prius

Принципи роботи гібридного автомобіля в час руху показано на рисунку 1.3 [3].



Рис. 1.3 Принципи роботи гібридного автомобіля під час руху

Розглянемо роботу систем гібридного автомобіля з послідовно-паралельною схемою.

Початок руху (див. Рис. 1.4)

Для того, щоб почати рух на невеликих швидкостях, використовується лише один електромотор.

Коли швидкість набирається, батарея починає спрямовувати свою енергію на блок керування живленням машини.

Після чого блок управління перенаправляє енергію на електромотори,

розташовані у задній та передній частинах авто.

Задній і передній електромотори дозволяють машині плавно рушити з місця

[4]

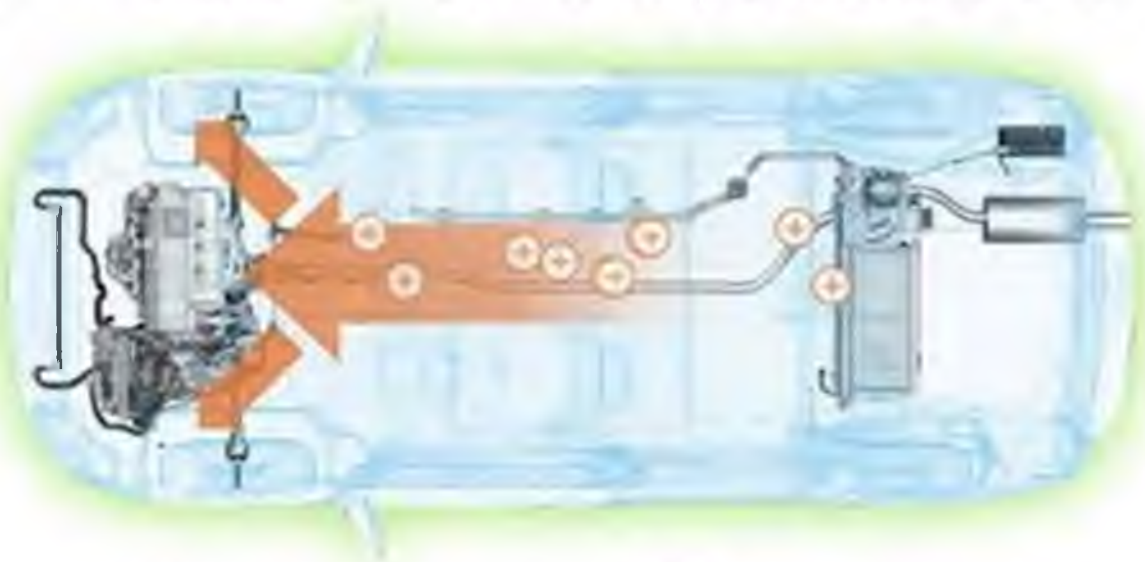


Рис. 1.4 Принципова схема початку руху гібридного автомобіля

Рух (див. Рис. 1.5).

Коли машина рухається у нормальному режимі, привід провідних коліс здійснюватиметься за рахунок електромоторів та бензинового двигуна; енергія двигуна розподіляється між електричним генератором і колесами, потім генератор надає руху мотори, також він здійснює зарядку батарей, віддаючи їм зайву енергію.



Рис. 1.5 Принципова схема руху гібридного автомобіля

Розгін (див. Рис. 1.6).

Працюючи в нормальному режимі, бензиновий двигун працює на розгін автомобіля.



Рис. 1.6 Принципова схема розгону гібридного автомобіля

Для того, щоб покращити динаміку, від електромотора надходить додаткова енергія.

У нормальному режимі роботи бензиновий двигун енергією постачає генератор. На блок керування електроживленням генератором можуть бути надіслані надлишки енергії.

Гальмування (див. Рис. 1.7).

У процесі гальмування кінетична енергія буде перетворена на електрику. Електроємстори спрямують його на блок керування електроживленням.

Бензиновий двигун авто починає роботу у звичайному режимі. Перед цим управлінський електроживленням блок поверне енергію на високовольтну батарею

[4]

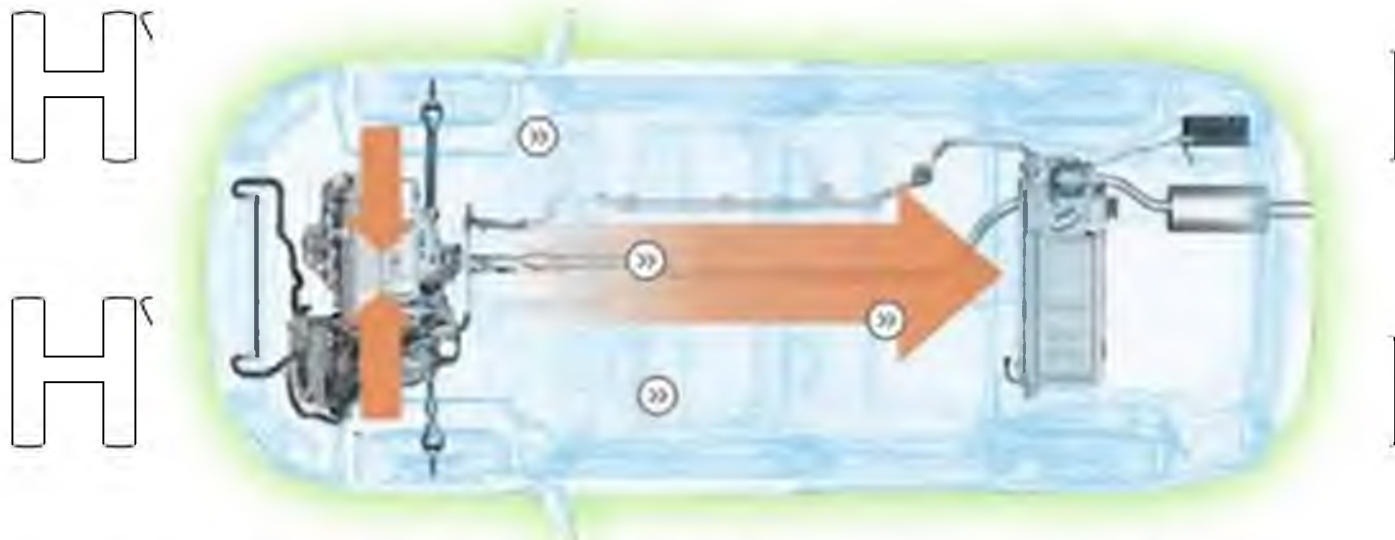


Рис. 1.7 Принципова схема гальмування гібридного автомобіля

1.3 Типи гібридів

Для правильної роботи з такими автомобілями дуже важливо розуміти, які існують типи гібридів (наведено міжнародну класифікацію) [5].

Мікрогібрид (див. Рис. 1.8).

Це автомобіль із звичайним паливним двигуном та системою «старт-стоп».

Двигун вимикається, наприклад, коли водій зупиняється на світлофорі, а потім система автоматично активує стартер, як тільки натискається педаль зчеплення або педаль гальма відпускається. Такі автомобілі мають звичайну 12-вольтну електричну систему



Рис. 1.8 Структурна схема мікрогібриду

М'який гібрид (також помірний гібрид, напівгібрид) (див. Рис. 1.9) На таких гібридах встановлена та сама система «старт-стоп», але вже де-що модифікована. Тут традиційний стартер і генератор повністю замінені на електродвигун, який використовується для запуску двигуна та його підтримки, при русі невеликий електродвигун збільшує потужність двигуна внутрішнього згоряння. Крім того, на цій машині особлива паливна система: в процесі гальмування від енергії, що виробляється, заряджається акумулятор. Крім стандартної 12-вольтової системи, встановлені незалежні електричні ланцюги. Враховуючи, що такі машини не можуть працювати тільки від електродвигуна, система працює на низькій напрузі 36 вольт. Отже, при роботі з таким типом автомобіля нових небезпек для рятувальників не з'являється.

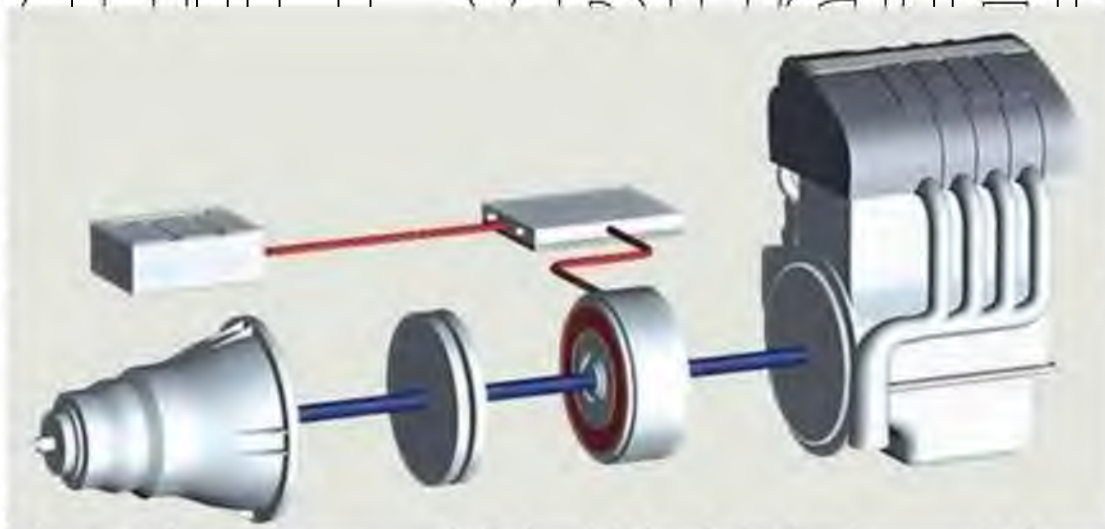


Рис. 1.9 – Структурна схема м'якого гібрида

Повний гібрид (див. Рис. 1.10).

Робота систем повного гібрида та машин, описаних вище, схожа. Однак повний гібрид може працювати тільки від енергії електричного двигуна, а для цього потрібна висока напруга. У повністю гібридних системах автомобіль може рухатися електромотором на будь-якому етапі руху: і при прискоренні, і в русі з постійною швидкістю. Наприклад, у «міському циклі» автомобіль може використовувати лише електродвигун. Найбільш популярний повний гібрид – Toyota Prius. У Toyota встановлена акумуляторна батарея постійного струму напругою понад 200 вольт. Вона складається з 28 модулів, що складаються кожен

із 6-ти гальванічних елементів, номінальна напруга кожного з яких 1,2 вольта.

Висока напруга в кузові становить небезпеку сама по собі, тому виробники створили різні системи безпеки з метою зменшення ризиків для рятувальників під час проведення рятувальних робіт.



Рис. 1.10 – Структурна схема повного гібрида (повний паралельний гібрид та повний послідовний гібрид)

Зазвичай 12-вольтний ланцюг використовує металеві деталі корпусу як негативний полюс батареї (катод). У такому ланцюзі електрика проходить по корпусу.

Якщо автомобіль знеструмлений або хоча б заглушений, ризик удару струмом при роботі з ним не зростає.

Щоб працювати від електричної силової установки, повні гібриди обладнані ланцюгом високої напруги.

Позитивні та негативні (помаранчеві) (див. Рис. 1.11) кольорові кабелі проходять від розташованої в задній частині автомобіля батареї до перетворювача під капотом. У високовольтному ланцюгу висока напруга проходить лише високовольтним проводам. А це означає, що, якщо плюсова клемма зіткнеться з металевими деталями корпусу, короткого замикання не станеться.

Види гібридних приводів [6, 7]

За принципом взаємодії електричної та паливної складових авто, гібридні приводи прийнято розділяти на три види: послідовний, паралельний та послідовно-паралельний.



Рис. 1.11 – Конструкція гібридної силової установки

Послідовний вид приводів (див. Рис. 1.12).



Рис. 1.12 – Послідовний привід

Це найпростіша гібридна конфігурація. Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) використовується тільки для приводу генератора, а електроенергія, що виробляється останнім, заряджає акумуляторну батарею і живить електродвигун, який і обертає провідні колеса. Це позбавляє необхідності в коробці передач і зчепленні. Для підзарядки акумулятора також використовується рекуперативне гальмування. Своєю назвою схема отримала тому, що потік потужності надходить на провідні колеса, проходячи ряд послідовних перетворень. Від механічної енергії,

що виробляється ДВЗ в електричну, що виробляється генератором, і знову в механічну. При цьому частина енергії неминуче губиться.

Послідовний гібрид дозволяє використовувати ДВЗ малої потужності, причому він постійно працює в діапазоні максимального ККД, або його можна зовсім відключити. При відключенні ДВЗ електродвигун і батарея можуть забезпечити необхідну потужність для руху. Тому вони, на відміну від ДВЗ, мають бути потужнішими. Найбільш ефективна послідовна схема під час руху у режимі частих зупинок, гальмування і прискорень, русі на низьку швидкість, тобто, в місті.

Тому використовують її у міських автобусах та інших видах міського транспорту.

За таким принципом працюють також великі кар'єрні самоскиди, де необхідно передати великий момент, що крутить, на колеса, і не потрібні високі швидкості руху.

Паралельний вид приводів (див. рис. 1.13).

Тут провідні колеса рухаються і ДВЗ, і електродвигуном (який має бути оборотним, тобто може працювати як генератор). Для ікньої узгодженої паралельної роботи використовується комп'ютерне керування. При цьому зберігається необхідність у звичайній трансмісії, і двигун доводиться працювати в неефективних перехідних режимах.

Момент, що надходить від двох джерел, розподіляється. Залежно від умов руху: у перехідних режимах (старт, прискорення) на допомогу ДВЗ підключається електродвигун, а в усталених режимах і при гальмуванні він працює як генератор, заряджаючи акумулятор.

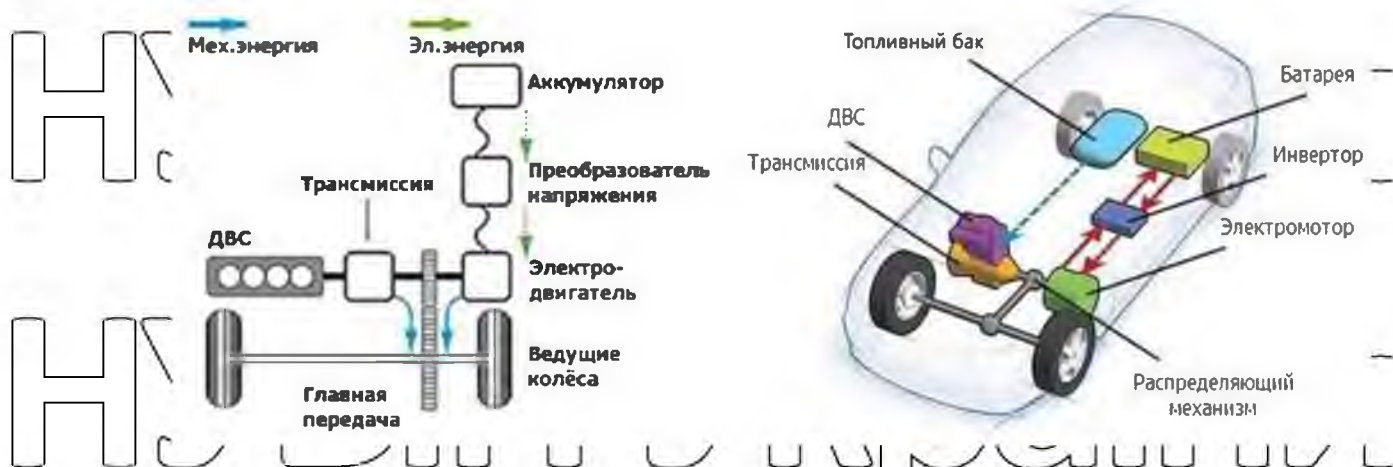


Рис. 1.13 – Паралельний привід

Таким чином, у паралельних гібридах більшу частину часу працює ДВЗ, а електродвигун використовується для допомоги йому. Тому паралельні гібриди можуть використовувати меншу акумуляторну батарею порівняно з послідовними.

Послідовно-паралельна схема (див. Рис. 1.14).

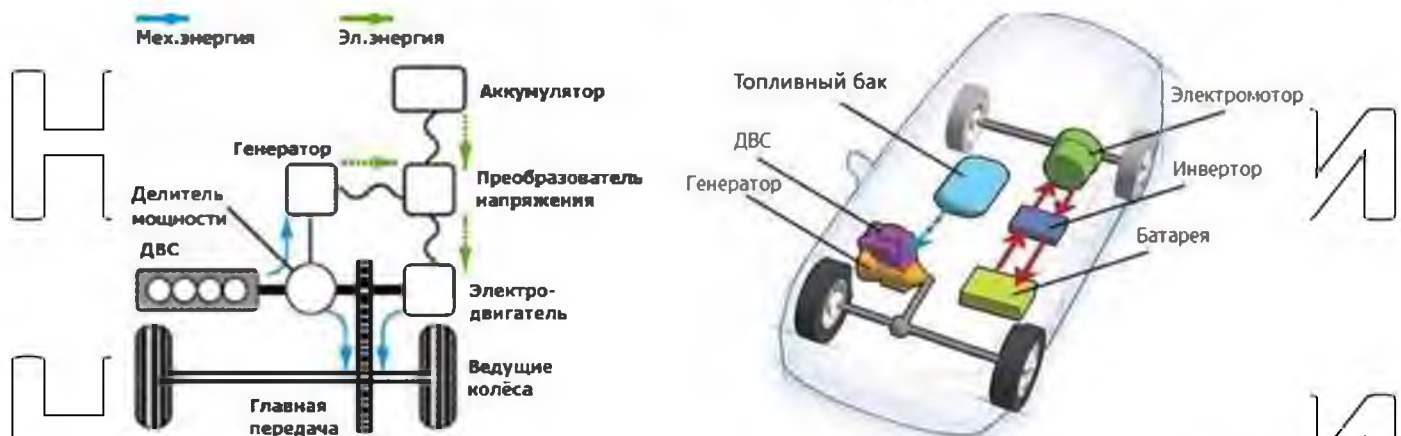


Рис. 1.14 – Послідовно-паралельна схема приводу

Розроблена японськими інженерами система Hybrid Synergy Drive (HSD) поєднує у собі особливості двох попередніх типів. У схему паралельного гібрида додається окремий генератор та дільник потужності (планетарний механізм).

Гібриди, що мають послідовно-паралельну схему, називають Full Hybrid.

В результаті гібрид набуває рис послідовного гібрида: автомобіль рушає і рухається на малих швидкостях тільки на електротязі. На високих швидкостях та під час руху з постійною швидкістю підключається ДВЗ. При високих навантаженнях (прискорення, рух угору тощо) електродвигун додатково живиться від акумулятора - тобто, гібрид працює як паралельний.

Завдяки наявності окремого генератора, що заряджає батарею, електродвигун використовується тільки для приводу коліс та при рекуперативному гальмуванні. Планетарний механізм передає частину потужності ДВЗ на колеса, а решту на генератор, який або живить електродвигун, або заряджає батарею. Комп'ютерна система постійно регулює подачу потужності від обох джерел енергії для оптимальної експлуатації за будь-яких умов руху.

У цьому типі гібрида більшу частину часу працює електродвигун, а ДВЗ використовується лише в найбільш ефективних режимах. Тому його потужність може бути нижчою, ніж у паралельному гібриді.

1.4 Класифікація за типом батарей

Автомобіль на електричній тязі був розроблений раніше, ніж транспортний засіб із двигуном внутрішнього згорання. Неприйнятна робота акумулятора не дозволила йому стати звичним транспортним засобом. Проте, можливо, ситуація кардинально зміниться. Використання літій-іонних акумуляторів у порівнянні зі свинцевими, нікель-кадмієвими та нікель-металогібридними батареями означає більш високу щільність енергії, кращу надійність, а також більший ресурс. У міру поліпшення показників джерел струму з'являються все більш різноманітні моделі електротранспорту. Щоб зрозуміти, наскільки близька епоха електрифікації транспортного засобу, проведений аналіз продукції акумуляторних підприємств.

Гібридні автомобілі можна розмежувати і за третьою ознакою – типу ємнісних батарей [8-12].

У серійних гібридах зустрічаються нікель-металогібридні (NiMH), літій-метал-фосфатні (LiFePO₄), літій-полімерні (Li-poly) та літій-іонні (Li-ion) батареї. Найбільшого поширення набули літій-іонні батареї.

Як правило, акумуляторна батарея гібридного автомобіля (див. рис. 1.15) поміщена в металевий корпус, розташована за заднім сидінням та надійно прикріплена до поперечки металевої підлоги багажного відділення автомобіля.

Акумуляторна батарея гібридного автомобіля складається з 28 низьковольтних (7,2 В) послідовно з'єднаних нікель-металогібридних модулів, які генерують приблизно 201 В. Кожен модуль акумуляторної батареї не розливається і укладений у герметичний пластиковий корпус.

Необхідно відзначити, що у вільному доступі знаходиться дуже мізерна, а часом суперечлива інформація про технічні характеристики акумуляторних батарей. Модуль деяких виробників включає, крім осередків, систему охолодження, а також систему контролю та управління. Тому шитомі показники одних виробників занижені, а інших, навпаки, завищені. Відповідно до вищесказаного розподіл дозволяє проводити лише грубу оцінку та порівняння.

Електроліт, що використовується в нікель-металогідридних модулях акумуляторної батареї, є лужною сумішшю гідроксиду калію та натрію. Електроліт абсорбується в комірчасті пластини акумуляторної батареї і переходить у форму гелю, тому, як правило, не витікає навіть внаслідок зіткнення автомобіля.



Рис. 1.15 – Акумуляторні батареї гібридного автомобіля

Гібридний автомобіль комплектується герметичною свинцево-кислотною 12-вольтною акумуляторною батареєю. Як і у звичайному автомобілі, допоміжна 12-вольтна акумуляторна батарея живить електричну систему транспортного засобу, негативна клемма допоміжної акумуляторної батареї заземлена на металевому шасі транспортного засобу.

Підкапотна наклейка (див. Рис. 1.16) вказує розташування акумуляторної батареї (тягового акумулятора) та 12-вольтної допоміжної батареї.

Акумуляторна батарея гібридного автомобіля живить електричну систему високої напруги електрикою постійного струму. Позитивні та негативні високовольтні силові кабелі оранжевого кольору прокладені від акумуляторної батареї під металевим днищем кузова до інвертора/перетворювача.

В інвертері/перетворювачі знаходиться ланцюг, який підвищує напругу акумуляторної батареї з 20 V до 650 V постійного струму. Силові кабелі прокладені від інвертера/перетворювача до кожного високовольтного двигуна (електричного двигуна, електричного генератора та компресора кондиціонера).

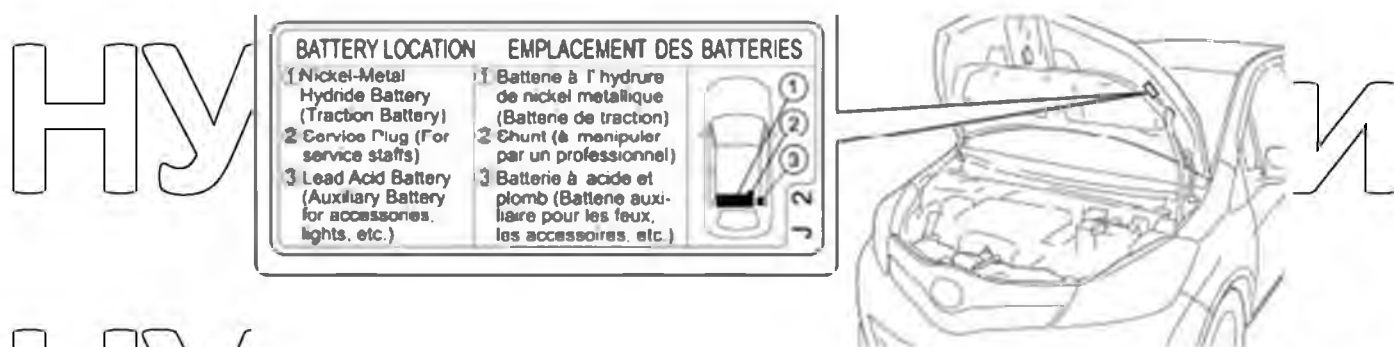


Рис. 1.16 Підкапотна наклейка

Система безпеки високої напруги включає (див. Рис. 1.17, 1.18):

- високовольтний запобіжник 1 який забезпечує захист від короткого замикання акумуляторної батареї гібридного автомобіля;

- позитивні та негативні високовольтні силові кабелі 2 з'єднані з акумуляторною батареєю гібридного автомобіля, які керуються 12-вольтними реле з нормально розімкненими контактами 3. Коли автомобіль вмикається, реле зупиняють подачу електричного струму від акумуляторної батареї;

- як позитивні, і негативні силові кабелі 2, які ізолювані від металевого корпусу. Електрика високої напруги проходить цими кабелями, а не металевим.

- кузов автомобіля. Контакт із металевим кузовом абсолютно безпечний, оскільки він ізолюваний від високовольтних компонентів;

- реєстратор замикання на землю 4, який постійно контролює виток

високої напруги на металеве шасі в процесі роботи автомобіля. Якщо виявлена помилка, бортовий ксмп'ютер 4 увімкне/світлову аварійну сигналізацію на панелі приладів і виведе на мультиінформаційний дисплей повідомлення

"Перевірте гібридну систему".

Безперечно, необхідно підвищувати енергоємність системи. Зробивши порівняння з традиційною системою ДВЗ, ми бачимо, що при великій дальності поїздки, а також більшій швидкості електронакопичувальна установка поступається.

Необхідно збільшення маси та обсягу накопичувальної системи для задоволення високої потреби в енергії, що, очевидно, призведе до збільшення всієї маси транспортного засобу, погіршення його технічних характеристик.

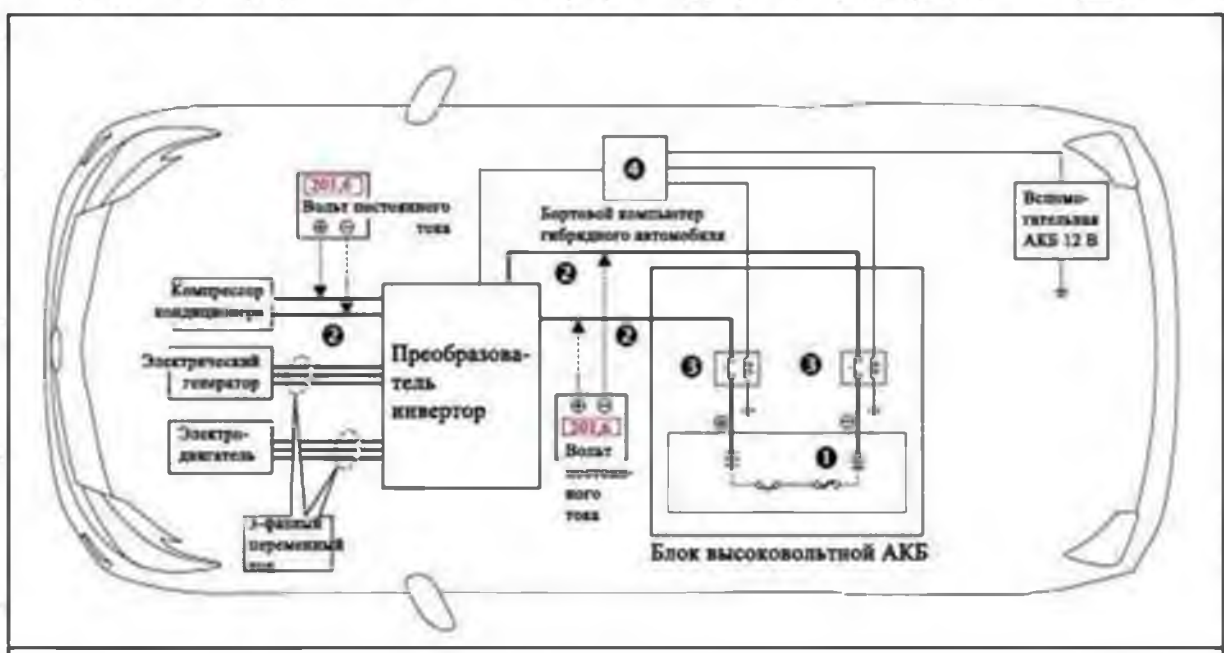


Рис. 1.17 – Система безопасности высокой напруги - автомобиль увімкнений та готовий до роботи (READY світиться).

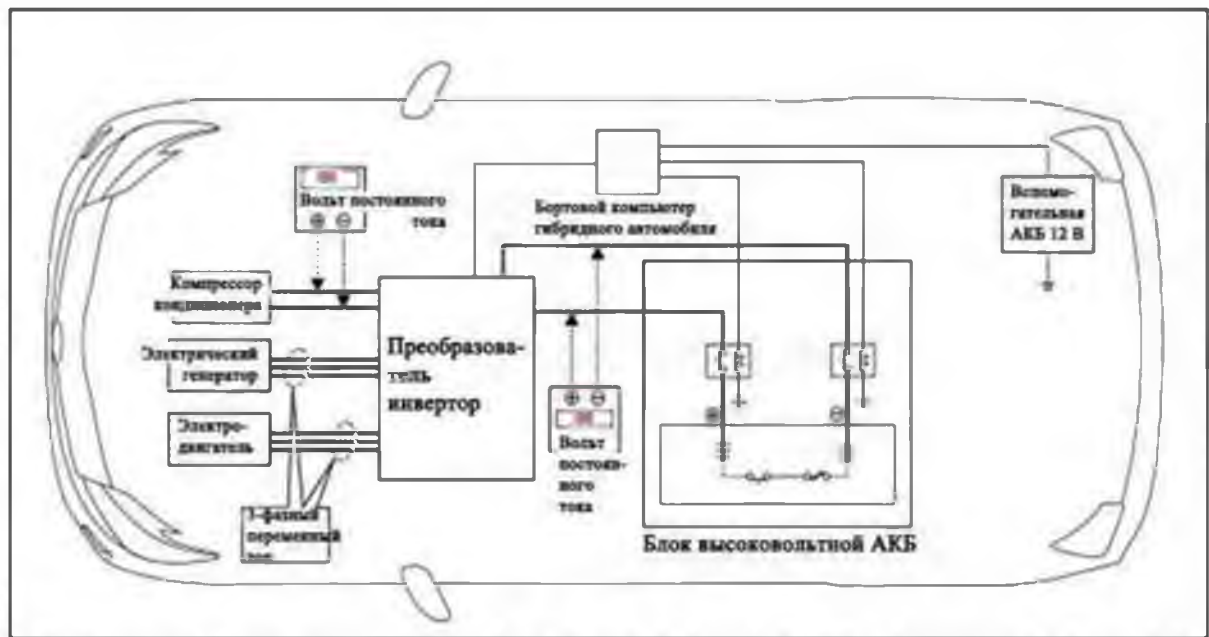


Рис. 1.18 – Система безпеки високої напруги – автомобіль вимкнений (READY не світиться)

Виробники Акумуляторних батарей ведуть роботу з підвищення енергоємності, створення більш компактних та ефективних систем охолодження та управління акумуляторною батареєю.

НУБІП України

НУБІП України

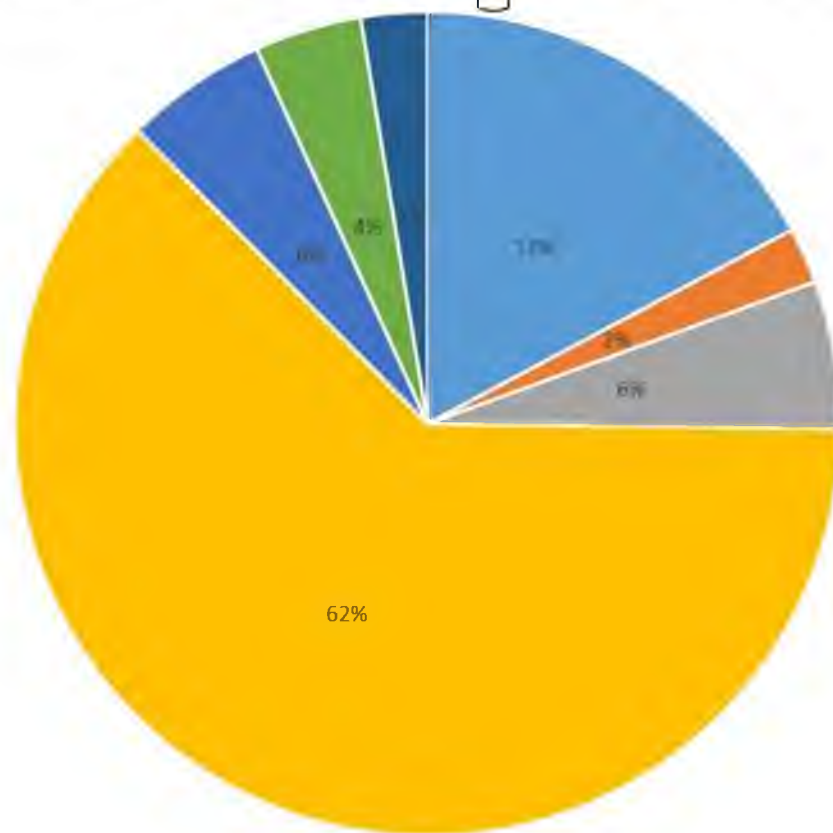
НУБІП України

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РОЗРОБОК ГІБРИДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

2.1. Аналіз існуючих енергозберігаючих технологій

Транспорт споживає дуже багато палива, але тільки 10-16 % йде безпосередньо на пересування.

Втрати енергії розподілені за факторами, вибраними за принципом використання цієї енергії (див. рис. 2.1). Окремо виділені корисні навантаження, такі як мультимедіа система автомобіля, підігрів, кондиціонер, підсвічування, клімат контроль та інші елементи автомобіля, що потребують електроенергії, в зображенні також фактори вимушеної втрати енергії, такі як тертя кочення, виділення тепла і т.д.



- Работающий двигатель
- использование аксессуаров
- потери при торможении
- потери двигателя
- потери трансмиссии
- сопротивление качению
- аэродинамическое сопротивление

Рис. 2.1 – Розподіл витрат енергії в автомобілі

Лише 17% палива витрачаються на пересування. Іншими словами, ККД

автомобіля дорівнює 17%. Цей показник доводить, що дуже багато енергії витрачається на подолання всіляких опорів. Звичайно, для комфортної їзди потрібне використання всіх мультимедіа та інших аксесуарів автомобіля, що в середньому становить 2%. У результаті 19% палива справді використовується за призначенням. Завдання будь-якої енергозберігаючої технології знизити показник 81% до мінімально можливого.

Як видно на рисунку 2.2 - тепло, що виділяється двигуном при русі автомобіля несе в собі 10-30% енергії, яку можна було б зберегти. Процес гальмування загалом також поглинає 30% енергії. Нерівності, які долає автомобіль у процесі пересування, забирають до 10% енергії, яка могла б бути спрямована з корисною метою.

Енергозберігаючі технології, здатні разом заощадити 50-70% енергії, підвищивши ККД в 3-4 рази. Дане дослідження дозволяє дійти невтішного висновку у тому, що енергозберігаючі технології це одне з основних напрямів розвитку транспортної промисловості [12].

Представлені технології вже розробляють у всьому світі.

Систему рекуперативного гальмування (СРГ) найчастіше можна зустріти в автомобілях нового покоління із гібридними двигунами. Основну її частину становить електричний спосіб рекуперації кінетичної енергії.

Ця енергія з'являється під час руху автомобіля. Надлишок кінетичної енергії, що відбувається при гальмуванні, у звичайній гальмівній системі переходить у теплову енергію шляхом тертя гальмівних колодок та гальмівного диска. З цього випливає, що витрата здійснюється вхолосту.

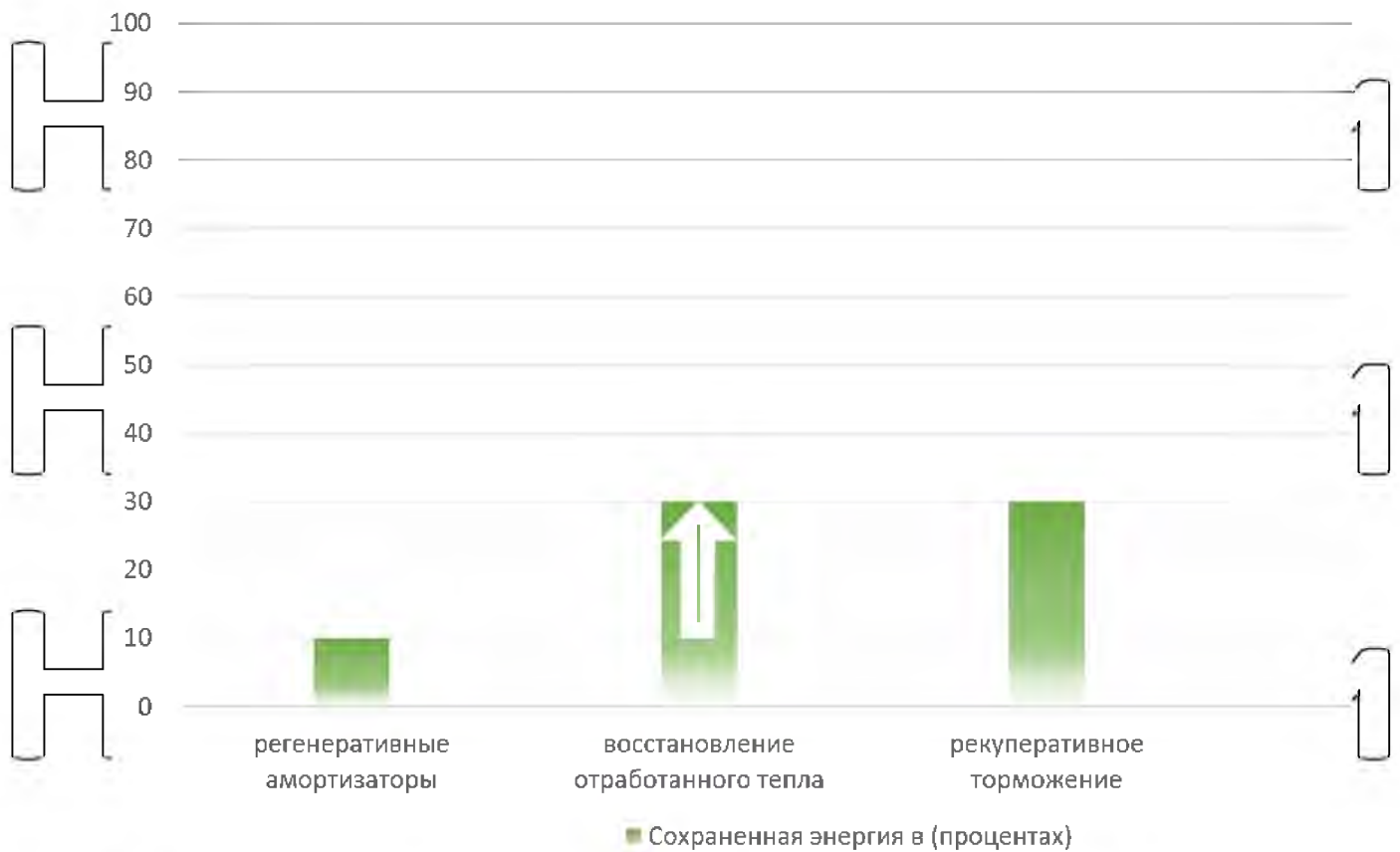


Рис. 2.2 - Возможности энергозберігаючих технологій

Електродвигун, який входить у трансмісію автомобіля, застосовується для уповільнення СРГ. При уповільненні електродвигун починає працювати в режимі генератора, на валу двигуна виникає гальмівний момент і виходить електрична енергія, що зберігається в акумуляторній батареї. Цей запас витрачається для подальшого пересування автомобіля.

Застосування СРГ спричиняє збільшення віддачі від кожного заряду акумуляторної батареї та високу економію палива. Рекуперативне гальмування має найбільшу користь, якщо вона розташована на передній осі автомобіля, тому що до 70% кінетичної енергії в процесі зупинки автомобіля припадає саме на передню вісь.

Ефективність використання СРГ досить сильно зменшується, якщо автомобіль рухається із низькою швидкістю. І щоб повністю зупинити автомобіль, застосовуються традиційні фрикційні гальма. Для двох систем одночасно керується електронікою.

Нижче наведено функції одного з електронних блоків керування:

- керування швидкістю обертання коліс;
 - стабілізація гальмівного моменту електродвигуна, який використовується для гальмування автомобіля;

- розподіл зусилля гальм на фрикційну систему гальм;
 - збереження крутного моменту, який потрібен для зарядки акумуляторної батареї.

У такій гальмівній системі між педально гальма та гальмівними колодками зв'язок механічний відсутній. Електроніка допомагає прийняти рішення про гальмування, ґрунтуючись на дослідженні дій автомобіліста та на тому, як рухається автомобіль.

У процесі гальмування електронна система рекуперативного гальмування працює у парі з АБС (антиблокувальна система) гальм, системою розподілу гальмівних зусиль, системою курсової стійкості, підсилювачем екстреного гальмування.

Крім вищезгаданого електричного способу рекуперації енергії, є кілька інших варіантів уникнути втрат енергії:

- механічний
- гідравлічний

- пневматичний

Найбільшої популярності набув перший варіант і сконструйована на його основі система рекуперації кінетичної енергії (Kinetic Energy Recovery Systems, KERS). Енергія транспортного засобу, що знаходиться в процесі руху, рекуперується під час зупинки і зберігається за допомогою маховика для можливості використання її в майбутньому. Різниця між CPF та KERS у тому, що остання не створює гальмівний момент [13].

Маховик перебуває у трансмісії автомобіля, він здійснює рух обертального характеру у вакуумній камері. У момент гальмування швидкість обертання маховика може досягати 60000 об/хв. Конструктивні особливості уможливають зберегти 600 кДж енергії та потужність до 60 кВт, що в перекладі на кінські сили дасть показник 80 к.с. Рекуперована енергія надалі може використовуватися для

різкого набору швидкості, ривків чи момент, коли транспортний засіб починає рух.

Система KERS вже активно використовується в автомобільних перегонах.

KERS встановлюється на боліди Formula 1 із 2009 року. Момент початку масового виробництва цієї системи поки що не настав, але у майбутньому технологію

планується застосовувати у багатьох видах транспорту. На даний момент компанії

Volvo знаходиться найближче до початку серійного виробництва даної технології.

Систему KERS пропонується використовувати у міському циклі для будь-яких транспортних засобів. Загальний зміст технології полягає у наступних етапах

з моменту гальмування:

1 двигун автомобіля вимикається

2 маховик розкручується та запасє енергію

Коли автомобіль починає рух, автомобіль рушає за рахунок енергії маховика, а двигун запускається вже в русі.

Застосування цієї технології збереження енергії забезпечує зростання ефективності використання палива на 20% [13].

Відновлення відпрацьованого тепла.

Розробка належить дослідникам з Університету Пердью, які працювали у партнерських відносинах із концерном із General Motors. Результатом цього

співробітництва був зразок інноваційної системи енергозбереження. Дана система здатна зробити витрату палива транспортного засобу ефективнішим, за рахунок використання термоелектричних генераторів (ТЕГ)

ТЕГ служить для підзарядки батареї та живлення бортової електричної системи автомобіля, це підвищує енергоефективність та розвантажує двигун.

Пристрій вбудовується в систему вихлопу транспортного засобу за каталітичним конвертером. Це необхідно, щоб отримувати електрику з теплової енергії вихлопних газів, температура яких досягає 700 °С [14].

Прототип має забезпечити 5% зростання енергоефективності. У майбутньому, коли з'являться генератори, здатні працювати при надвисоких температурах, цей показник може зрости до 10%.

Термоелектричний матеріал знаходиться на кількох чіпах, конфігурація яких

залежить від місця установки. Чіпи створені таким чином, що функціонують у різних температурних умовах. Ці умови різні і залежать від конкретного місця вимірювання точки в системі вихлопу.

Струм при використанні термоелектричних матеріалів генерується за рахунок різниці температур. Одна сторона розташована поряд із нагрітою поверхнею, а інша знаходиться у холоднішому оточенні. Наявність різниці температур і є достатньою умовою для вироблення енергії.

2.2. Електричні транспортні засоби

Найвідоміша технологія ZEV (zero-emission vehicle – транспортний засіб з нульовим рівнем викидів) це EV технологія (electric vehicle – електромобіль), історія якого так само довга, як і у ICEV (internal combustion engine vehicle - автомобіль з двигуном внутрішнього згорання).

Фактично, в 1900 році 38% всіх проданих автомобілів у США були електромобілями, тоді як тільки 22% були оснащені ДВЗ (40% були парові). Технологія EV була переведена в статус меншості та майже забута, тому що технологія ICEV розвивалася прискореними темпами, дозволяючи створювати більш дешеві та значно потужніші транспортні засоби.

Концепцію транспортного засобу на батареях (BV) було відроджено під час розпалу нафтового ембарго ОПЕК у 1973 році. Декілька автовиробників розробили технології BV, які зрештою вдалося запустити в серію, зокрема, General Motors (GM) EV1. До 2001 року лише у Каліфорнії налічувалося близько 2500 BV [15]. Втім, ті BV, які були доступними, використовували переважно свинцево-кислотні (LA) батареї і за характеристиками були невігідні в порівнянні з ICEV технологіями.

Причиною відродження технології BV став новий удосконалений тип батарей – насамперед нікель-метал-гідридні (NiMH) та літій-іонні (Li-Ion) батареї.

Перші нині домінують на автомобільному ринку, а другі повсюдно застосовують у промисловості портативної електроніки. Однак, останнім часом, в

галузі електричних транспортних засобів віддають перевагу Li-Ion акумуляторам, а не NiMH.

Енергетична ємність Li-Ion акумуляторів приблизно вдвічі більша, ніж у NiMH, і, оскільки масштаб виробництва збільшується, Li-Ion акумулятори незабаром стануть помітно дешевшими. Очікується, що Li-Ion тип батарей стане домінуючим [16].

У всіх на слуху прикладом ВУ технології наступного покоління є Tesla Roadster від компанії Tesla Motors [17]. Roadster запитується від Li-Ion батарей і при цьому прискорюється від 0 до 96 км/год протягом чотирьох секунд, а запас

ходу на одному заряді становить до 320 км. Технології електромобілів, як видно на прикладі Roadster, здатні пристойно розганятися з простою механікою, оскільки високий момент, що крутить, на низьких швидкостях електричної машини (ЕМ) виключає необхідність низьких передач і перетворювачів крутного моменту.

Електромобіль також набагато тихіше, ніж порівняний за характеристиками автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння.

Іншою можливою технологією накопичення енергії для електромобілів є використання ультраконденсатора на транспортному засобі з ультраконденсаторною системою (UCV).

Ультраконденсатор був виготовлений та запатентований у 1957 році компанією General Electric.

Звичайні конденсатори є пасивним електронним компонентом, у найпростішому варіанті конструкція якого складається з двох електродів у формі пластин, розділених діелектриком, товщина якого мала в порівнянні з розмірами обкладок.

Ультраконденсатор – це той же акумулятор, але з на порядок найкращими властивостями. Насамперед це стосується істотно швидшого заряду і розряду.

Ультраконденсатор є елементом з двома електродами – між ними розташовується електроліт. Електроди виконані у вигляді пластини з певного матеріалу. Для поліпшення електричних параметрів ультраконденсатора пластини можуть додатково покриватися пористим матеріалом, наприклад, активованим вугіллям.

Як електродит може застосовуватися неорганічна або органічна речовина.

Загалом ультраконденсатор – це гібрид хімічної акумуляторної батареї та звичайного конденсатора.

Головна відмінність ультраконденсатора від звичного конденсатора - у наявності у першого не просто діелектрика між електродами, а подвійного електричного шару. У результаті між електродами утворюється дуже маленька відстань, яке можливість накопичувати електричну енергію (електрична ємність) виходить набагато вище.

Крім цього, ультраконденсатор від акумуляторної батареї відрізняється швидкістю накопичення, а також ступенем віддачі електричного заряду. Завдяки застосуванню подвійного електричного шару підвищується площа поверхні електродів за тих же загальних габаритів. Тобто у пристрої поєднуються найкращі електричні характеристики – суттєва ємність акумулятора та швидкість конденсатора.

Ультраконденсатор – електрохімічний конденсатор, який має здатність накопичувати надзвичайно велику кількість енергії по відношенню до його розміру, а також у порівнянні з традиційним конденсатором. Ця властивість ультраконденсатора особливо цікава у створенні гібридних транспортних засобів в автомобільній промисловості, у тому числі у виробництві машин на акумуляторній електротязі, в яких ультраконденсатори застосовуються у вигляді додаткового накопичувача енергії [18, 19].

Ультраконденсатор як джерело енергії для електротранспорту дозволяє вирішити відразу кілька завдань. По-перше, зникає проблема залежності від дротів. Тролейбус не здатний об'їхати серйозну перешкоду, на відміну електричного автобуса. По-друге, спроби створити громадський транспорт на акумуляторах щоразу зазнавали краху через велику вагу та дорожнечу елементів живлення. Якщо заощаджувати на батареях, то пробіг виходив надто низьким.

Але зараз технологія ще не відпрацьована. Наприклад, автобуси в м. Шанхай, які працювали за даною технологією, дуже швидко розряджались і вимагали зарядки на кожній кінцевій зупинці маршруту.

Таким чином, навіть при використанні найсучасніших джерел живлення електромобілів, чи то батареї, чи то ультраконденсатори, обмежує їх використання в основному для міського транспорту, що досить незручно для громадян таких великих країн як Канада, де поширені подорожі дальністю 600 км і далі. Це обмеження посилюється багатогодинним періодом, необхідним для перезаряджання батареї. Крім того, постійне, майже повне виснаження акумуляторного блоку значно скоротить його термін служби та призведе до зниження продуктивності та витратних замін, оскільки продуктивність електробатарей зменшується у міру того, як стан їхнього заряду наближається до виснаження.

Ультраконденсаторні транспортні засоби не призначені для далеких поїздок через невелику смістність накопичення.

Таким чином, технології BV та UCV будуть затребуваними транспортними засобами в найближчому майбутньому, коли з'явиться революційна батарея або технологія UC, яка значно збільшить щільність енергії, питому енергію, щільність потужності, питому потужність та час життя циклу, а також значно знизить час заряджання.

2.3. Гібридні транспортні засоби на електриці

Основний принцип гібридних транспортних засобів (НУ) полягає в тому, що різні двигуни працюють краще на різних швидкостях; електродвигун ефективніший для створення крутного моменту або потужності при повороті, а двигун внутрішнього згорання працює краще для підтримки високої швидкості (краще, ніж звичайний електродвигун). Перемикання з одного на інше у потрібний час при прискоренні дає безпрограшний варіант з точки зору енергоефективності як такий, що, наприклад, призводить до підвищення ефективності використання палива [20].

В даний час існують три різні варіанти електричних автомобілів [21]:

електричний гібридний автомобіль (HEV)

Має два двигуни (ДВЗ та електромотор), які можуть працювати як паралельно, так і послідовно. Батарея може заряджатися за допомогою рекуперативного гальмування. Відсутня можливість заряджання від мережі.

Приклад: Toyota Prius.

- гібридний автомобіль із підзарядкою від електромережі (PHEV).

Аналогічний PHEV, проте батарею можна заряджати від зовнішнього джерела електроенергії. Приклад: Chevrolet Volt.

- Електромобільна акумуляторних джерелах живлення (Електричний автомобіль, BEV).

Використовується лише електродвигуни і батарея, що перезаряджається.

Наприклад: Nissan Leaf, Tesla Model S.

Різні типи (технології) автомобілів можна ранжувати за "ступеня електрифікації" (degree of electrification, DOE).

Гібридний електричний автомобіль (Hybrid electric vehicle, HEV) - транспортний засіб, що рухається за допомогою гібридної силової установки, відмінною особливістю якої є використання двох джерел енергії та двох типів двигунів: електричного та двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Існує багато типів HEV. Найбільш поширеною формою HEV є гібридний електромобіль.

Сучасні HEV використовують технології підвищення ефективності, такі як регенеративні гальма. Регенеративне гальмо - енергетичний механізм відновлення, який уповільнює транспортний засіб або об'єкт, перетворюючи його кінетичну енергію в іншу форму, яка може негайно використовуватися або збережена, поки не необхідний. Це контрастує зі звичайними гальмівними системами, де надмірна кінетична енергія перетворена, щоб нагрітися тертям у гальмівних накладках і тому витрачена даремно.

Гібридний автомобіль з підзарядкою від електромережі (Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV) - гібридний електричний транспортний засіб (ДВЗ плюс електродвигун) з високою ємністю акумулятера, що використовується як основне джерело енергії. ДВЗ переважно використовується для заряджання батареї або

служить резервом на випадок повної розрядки батареї [21].

Електромобіль на акумуляторних джерелах живлення (Battery electric vehicle, BEV) - повністю електричний автомобіль, що наводиться в рух за допомогою електродвигуна, що використовує енергію батареї, встановлену в автомобілі.

2.4. Гібридні транспортні засоби на паливних елементах

Паливний елемент є гальванічний елемент, який перетворює хімічну енергію паливного (часто водень) та окислювач (часто кисень) в електричну енергію через окислювально-відновлювальні реакції. Паливні елементи відрізняються від більшості батарей тим, що для підтримки хімічної реакції потрібне постійне джерело палива та кисню (зазвичай з повітря), тоді як в батареї хімічна енергія зазвичай виходить від металів та їх іонів або оксидів, які зазвичай вже присутні в батареї. Паливні елементи можуть виробляти електрику безперервно, поки паливо та кисень поставляються.

Існує багато типів паливних елементів, але всі вони складаються з анода, катода і електроліту, який дозволяє іонам, часто позитивно зарядженим іонам водню (протонам), переміщатися між двома сторонами паливного елемента. На аноді катализатор змушує паливо зазнавати реакції окислення, які генерують іони (часто позитивно заряджені іони водню) та електрони. Іони рухаються від анода до катода через електроліт. У той же час електрони протікають від анода до катода через зовнішній ланцюг, виготовляючи постійний струм. На катоді інший катализатор викликає реакцію іонів, електронів та кисню з утворенням води та, можливо, інших продуктів. Паливні елементи класифікуються за типом електроліту, який вони використовують, і за різницею в часі запуску в діапазоні від 1 секунди паливних елементів з протоннообмінною мембраною (паливні елементи PEM або PEMFC) до 10 хвилин для твердооксидних паливних елементів (SOFC).

Окремі паливні елементи виробляють відносно невеликі електричні потенціали, близько 0,7, тому елементи «складені» або розташовані послідовно, щоб створити достатню напругу. На додаток до електрики, паливні елементи виробляють воду,

тепло і, залежно від джерела палива, дуже невеликі кількості, діоксиду азоту та інші викиди. Енергоефективність паливного елемента зазвичай становить від 40 до 60%; однак, якщо відпрацьоване тепло уловлюється у схемі когенерації, може бути досягнуто ефективності до 85%.

На рисунку 2.3 представлено схему гібриду з паливними елементами.

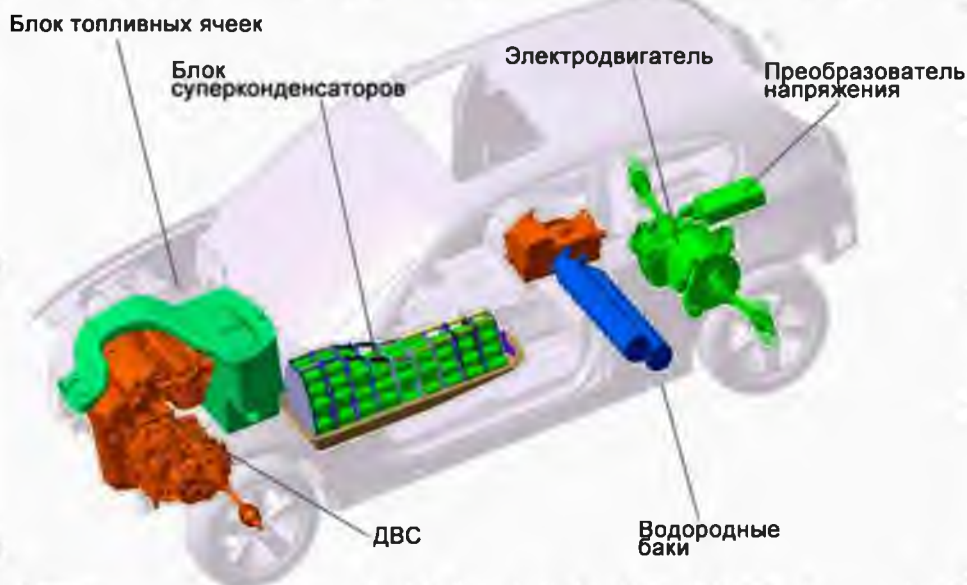


Рис. 2.3 - Гібрид з паливними осередками

Виготовлений на базі BMW 1-ої серії, гібрид демонструє новий підхід до використання водню як палива. Автомобіль обладнаний чотирициліндровим бензиновим ДВС, електродвигуном та допоміжною силовою установкою (ЗСУ) на основі паливних елементів. Поєднання ДВС з паливними осередками дозволяє використовувати обидві технології з максимальною ефективністю. Використання водню забезпечує необхідну дальність ходу та швидку заправку [22].

«Розмір паливного елемента достатній для забезпечення руху автомобіля на малих швидкостях, тоді як ДВС ідеально підходить для далеких високошвидкісних замських поїздок. В умовах міського руху електроенергія, що виробляється ЗСУ, запасується в супер конденсатори. Ця енергія віддається електродвигунові при розгоні та старті в Світлофора. Під час гальмування та руху накатом електромотор працює як генератор, повертаючи енергію у супер конденсатори. Додатковий та випробування, що проводяться в даний час, мають на меті довести загальний

пробіг гібрида в міському циклі до декількох сотень кілометрів.

Всі компоненти гібрида легко встановлюються у стандартний тридверний кузов BMW 4 Series. ЗСУ розташована під капотом разом з ДВЗ, електродвигун займає місце заднього редуктора і надає руху задні колеса. 82 кВт «електричної» потужності і високий момент, що крутить, забезпечують з самого старту «спортивний дух» BMW. Батарея суперконденсаторів зайняла місце КПП у центральному тунелі. 120-сильний ДВЗ крутить передні колеса. Об'єм бензинового бака зменшено, що дозволяє розмістити поряд бак для водню. Таким чином, внутрішній простір кузова не зменшився, і в ньому, як і раніше, можуть розміститися п'ять осіб. Загальна ж вага автомобіля зросла незначно. На рисунку 2.4 представлений приклад блоку паливних осередків.



Рис. 2.4 - Блок паливних осередків

Технологія низькотемпературних паливних осередків із полімерною мембраною розроблялася BMW з 1997 року. Із самого початку дослідження були спрямовані на створення компактною ЗСУ з максимально низькою вагою. Концепт BMW 750iL, представлений на початку 2000-х років, використав блок паливних осередків як джерело бортового живлення. Наразі виробляється вже четверте покоління ЗСУ. Крім збільшення терміну служби до 5000 годин, ці пристрої менш

складні, а отже, мають більш високу надійність.

Вони вневнено працюють при атмосферному тиску, які ККД досягає 58%. ЗСУ швидко реагує на зміну навантаження. Перехід від режиму холостого ходу до максимальної потужності займає лише 5 мілісекунд. Полімерні паливні осередки здатні працювати за низьких температур. Система приходить у робочий стан лише через 30 секунд після «холодного» старту. Дослідження показали, що після кількох сотень холодних пусків параметри ЗСУ не змінилися [22].

ЗСУ нового гібрида забезпечує електроживленням всіх споживачів мережі аналогічно до концепту BMW 750hL. При цьому вони не відбирають потужність ДВЗ. Це дозволяє покращити і деякі функції комфорту. Наприклад, кондиціонер або медіа-системи можуть працювати під час стоянки, живлячись від батареї паливних осередків. ЗСУ забезпечує невелику потужність протягом тривалого періоду часу; енергія, запасена в суперконденсаторах, дозволяє розвивати високу потужність протягом короткого часового відрізка. Спільна робота цих пристроїв дозволяє досягти ідеального руху в міських умовах.

2.5. Конфігурація гібридного багаторежимного силового агрегату

Конструкція силового агрегату, обраного на дослідження, представлена на рисунку 2.5. Ця конструкція заснована на рішеннях, описаних у патенті US6478705 [23]. Дослідження цієї силової установки представляється цікавим через повну відсутність будь-якої інформації російською мовою.

Конфігурація багаторежимного силового агрегату містить два пристрої поділу потоків потужності (PSD), три муфти та два мотор-генератори. PSD позначаються мітками "S", "C" і "R" для сонячної шестерні, водила і коронної шестерень відповідно.

У конструкції:

- двигун через муфту (CL3) з'єднаний з коронною шестернею першої планетарної передачі (R1);
- перший мотор-генератор (MG1) безпосередньо з'єднаний із сонячною

щестернею першої планетарної передачі (S1), а також через проміжний вал і муфту (CL2) з коронною щестернею другої планетарної передачі (R2);

- перше (C1) та друге (C2) водила безпосередньо з'єднані з карданним валом;

- коронна щестерня другої планетарної передачі (R2) з'єднана з нерухомим елементом через муфту (CL1);

- другий мотор/генератор (MG2) з'єднаний із сонячною щестернею другої планетарної передачі (S2).

Трирежимна структура силової установки здатна працювати як електромобіль (EV) або в одному з двох режимів розподілу потужності. Повністю електричний режим (AER) можливий завдяки конфігурації EV. AER обмежується за допомогою електронного блоку управління (ECU) на низьких швидкостях та потужностях для виключення небажаного виснаження системи накопичення енергії (ESS). AER практично завжди використовується виключно для початку руху транспортного засобу. Робота EV активується шляхом відключення муфти CL3 і подачено системи накопичення енергії ESS енергії на другий мотор-генератор MG2, який, у свою чергу, рухає колеса. Двигун і перший мотор-генератор MG1 вимкнено.

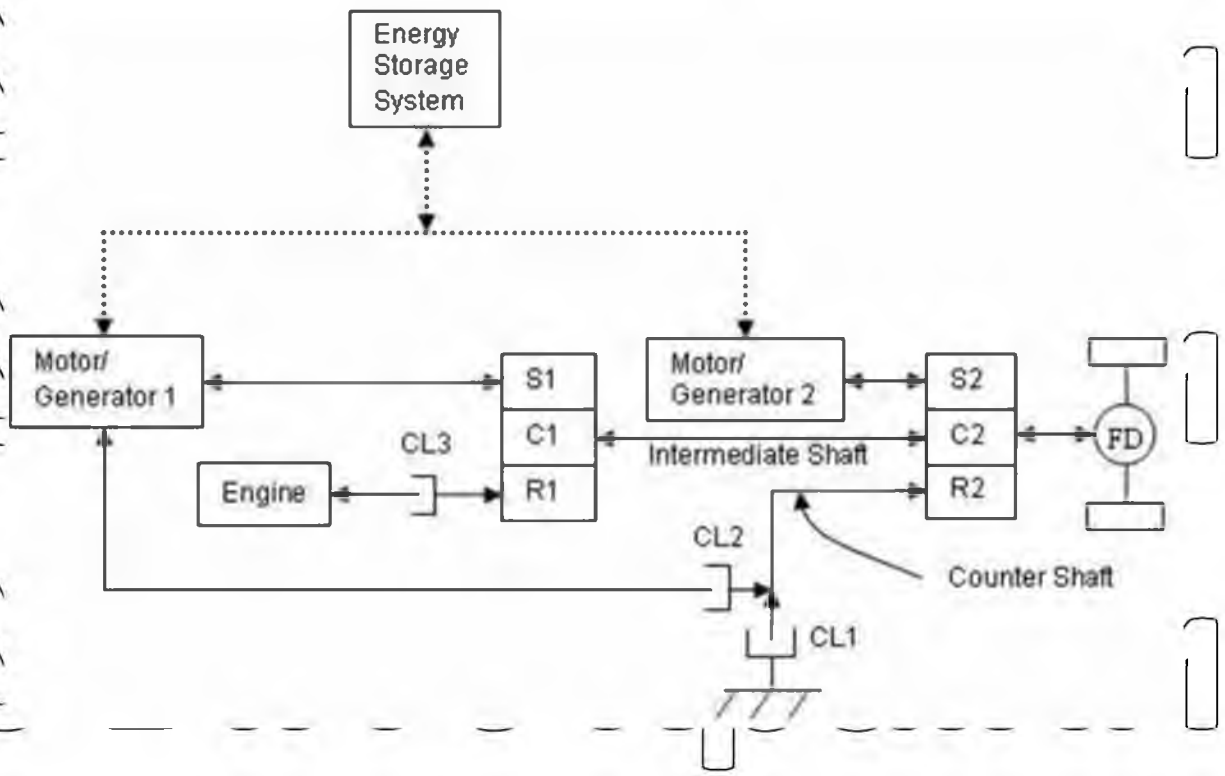


Рис. 2.5 – Структурна схема багаторежимного силового агрегату

Для розділення потоків потужності муфта CL3 включається разом з однією з двох інших муфт. Двигун також запускається та починає виробляти енергію.

Два режими поділу потоків потужності охоплюють умови низької та високої швидкості відповідно. Низькошвидкісний режим спрацьовує при включенні муфти CL1 та вимкненні муфти CL2. Ця дія відключає перший мотор-генератор MG1 від другого пристрою поділу потоків потужності PSD, фіксує коронну шестерню другої планетарної передачі R2 і в результаті відбувається поділ вхідного потоку. Цей режим використовується, коли необхідна швидкість не може бути отримана за допомогою AER, але і не є, власне, високою.

Дорожня обстановка та бажання водія визначатимуть рівень потужності силового агрегату і, отже, ту швидкість, з якою режими змінюватимуться.

Слід зазначити, що на низькошвидкісному режимі схема практично ідентична конструкції автомобіля Toyota Prius THS. Два наявні відмінності в конструкціях полягають у з'єднанні двигуна з коронною шестернею першої зубчастої передачі і тип вихідного зубчастого зачеплення: у конструкції General Motors використовується PSD з нерухомим коронним зубчастим колесом, а в THS використовується звичайна зубчаста передача.

Високошвидкісний режим включається при перевищенні швидкості, позначеної як V-перекл., шляхом відключення муфти CL1 та увімкнення муфти CL2. Це з'єднує перший мотор-генератор MG1 з коронною шестернею другої планетарної передачі R2. Цей режим має два вузли, перший із яких є загальним для низькошвидкісного режиму, а другий, позначений як VS3, має більш високе співвідношення вихідна/вхідна швидкість. Додатковий вузол забезпечує ефективнішу роботу на високих швидкостях. Різні режими роботи наведено у таблиці 2.1.

Слід зазначити, що представлені ті режими, що забезпечують рух транспортного засобу вперед, хоча також можливі і режими із заднім ходом автомобіля.

Режим заряджання системи накопичення енергії ESS, у якому відсутня рух, досягається шляхом застосування механічних гальм для запобігання будь-якому переміщенню. Дві інші важливі швидкості при високошвидкісному режимі позначені як VS2 та VS4. VS2 - це швидкість, де другий мотор-генератор MG2 починає працювати як генератор. VS4 - це та швидкість, після якої обидва мотор-генератори працюють як мотори. Активація цих двох швидкостей залежатиме від стану заряду (SOC) батареї; якщо рівень заряду батареї залишається досить високим, обидва мотор-генератори можуть працювати як мотори для отримання додаткової потужності.

Таблиця 2.1

Режими роботи ICE/IV				
Режим	Електричні машини	CL1	CL2	CL3
Рух вперед				
AER	MG1 вимк/мотор MG2 мотор	вкл.	вимк.	вимк.
Низькошвидкісний режим $V < V_{перекл}$	MG1 генератор MG2 мотор	вкл.	вимк.	вкл.
Високошвидкісний режим $V_{перекл} < V < VS2$	MG1 мотор MG2 мотор	вимк.	вкл.	вкл.
Високошвидкісний режим $VS2 < V < VS3$	MG1 мотор MG2 генератор	вимк.	вкл.	вкл.
Високошвидкісний режим $VS3 < V < VS4$	MG1 генератор MG2 мотор	вимк.	вкл.	вкл.
Високошвидкісний режим $V > VS4$	MG1 мотор	вимк.	вкл.	вкл.

	Гальмування			
рекуперативний	MG1 вимк.	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.
	MG2 генератор			
Уповільнення двигуна	MG1 мотор	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.
	MG2 генератор			
рекуперативний + уповільнення двигуна	MG1 мотор	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.	ВКЛ викл.
	MG2 генератор			

Дослідження гібридних трансмісій транспортних засобів зосереджено на розробці їх віртуальних прототипів.

Інструменти комп'ютерного моделювання, що використовуються для дослідження, є пакетами програмного забезпечення. Так, програмне забезпечення MATLAB від компанії The Math Works застосовують для комп'ютерного моделювання. Це програмне забезпечення широко використовується багатьма галузями промисловості для наукових досліджень. Програмне забезпечення має опціональний набір оптимізації інструментів, який використовується для математичної оптимізації.

Друге програмне забезпечення розроблене Національною лабораторією відновлюваної енергії (NREL) у 1994 році (і постійно вдосконалюється за допомогою процесу з відкритим вихідним кодом) для моделювання та оптимізації транспортних засобів, відомого як ADVanced Vehicle Simulator (ADVISOR). ADVISOR був заснований на платформі MATLAB/Simulink, що робить його використання гнучким для поєднання процедур оптимізації. Програмне забезпечення ADVISOR було відкритим вихідним кодом, в якому велика кількість дослідницьких груп зробила свій внесок у бібліотеки моделей, що дозволило інструменту стати галузевим стандартом.

Третій інструмент проектування (KSVTF), у якому можна виконати експериментальну перевірку результатів моделювання та симуляції. Засіб дозволяє

відтворювати точні результати контрольованого середовища.

2.6. Узагальнення проведеного аналізу

Проведений аналіз показав, що найбільша кількість енергії витрачається на роботу двигуна автомобіля та лише 17 % енергії витрачається на пересування, тобто завдання впровадження енергозберігаючих технологій є актуальним як ніколи.

Близько 10-30% енергії можна зберегти. Процес гальмування загалом також поглинає 30% енергії. Нерівності, які долає автомобіль у процесі пересування, забирають до 10% енергії, яка могла б бути спрямована з корисною метою.

Існуючі енергозберігаючі технології, здатні разом заощадити 50-70% енергії, що підтверджує актуальність напрямів розвитку транспортної промисловості у цю сторону.

Однією з основних концепцій розвитку є просування транспортних засобів на батареях. Найбільшого поширення мають батареї NiMH та Li-Ion типів, причому енергетична ємність Li-Ion акумуляторів приблизно вдвічі більша, ніж у NiMH, але вища і ціна.

Друге народження зазнають і ультраконденсатори. Як відомо, ультраконденсатор – електрохімічний конденсатор, який має здатність накопичувати надзвичайно велику кількість енергії по відношенню до його розміру, а також у порівнянні з традиційним конденсатором. Ця властивість ультраконденсатора особливо цікава у створенні гібридних транспортних засобів в автомобільній промисловості, у тому числі у виробництві машин на акумуляторній електротязі, в яких ультраконденсатори застосовуються у вигляді додаткового накопичувача енергії.

При проектуванні гібридних транспортних засобів необхідно визначати критерії на ранньому етапі, оскільки це може істотно знизити вартість і час проектування.

Історично склалося так, що загальне правило автомобільної інженерії

полягає в тому, що витрати та час виробництва пропорційні вазі та розміру автомобіля. Узагальнення більше неприйнятне.

Дослідження гібридних трансмісій транспортних засобів зосереджено на розробці їх віртуальних прототипів із використанням інструментів проектування та моделювання. Динамічне моделювання обраних конструкцій використовується для точного опису функцій механізмів трансмісії. Моделювання проводиться для прогнозування продуктивності розроблених моделей.

Ці кроки є необхідними розробки віртуального прототипу. Віртуальний прототип незамінний у конкурентній галузі автомобільних розробок, оскільки він дозволяє швидко та легко оцінити ефект зміни елементів конструкції без необхідності створення дорогих натурних випробувань.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЦИКЛІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ АВТОМОБІЛІВ

Багаторежимна конфігурація, яка включає безліч можливостей, таких як паралельна робота і робота з поділом потоків потужності, є більш адаптованою до різноманітних типів транспортних засобів і областей застосування. Саме ця гнучкість переконала багатьох аналітиків автомобільної промисловості в тому, що багаторежимна архітектура перевершить конструкцію Toyota Hybrid System (THS) і стане переважаючою гібридною трансмісією. Daimler AG, Chrysler і BMW та інші автомобільні компанії використовують патенти General Motors, призначені багаторежимній конфігурації гібридних автомобілів як основу, вказує на те, що керівництво цих компаній також вважає, що багаторежимні конфігурації силових агрегатів є досить багатообіцяючими.

2.1 Моделювання гібридного транспортного засобу

Щоб порівняти та проаналізувати продуктивність багаторежимної конфігурації, було проведено імітаційне моделювання, в якому багаторежимна модель порівнювалася з моделями THS гібридного та звичайного силового агрегату.

Конфігурації транспортних засобів були змодельовані з використанням мови програмування MATLAB/Simulink та за допомогою інтегрованого комплексу для симуляції та аналізу руху автомобіля ADVISOR. Версія, що використовується - це версія 2002 року з відкритим вихідним кодом. ADVISOR дозволяє виконувати стаціонарне моделювання, яке не здатне імітувати перехідні процеси. Тому динамічні процеси не враховуються, і поведінка компонентів між станами, що встановилися, не може бути нами проаналізовано.

ADVISOР містить велику бібліотеку різних типів транспортних засобів, у тому числі можна вибрати необхідний. Базові моделі для THS, гібрида з

паралельним проводом та стандартного силового агрегату були прийняті за основу, і згодом змінені, щоб продемонструвати бажані характеристики транспортних засобів, що досліджуються. Багаторежимну модель було розроблено шляхом значної модернізації моделі THS.

Кузов транспортного засобу, вибраного для моделювання, заснований на вантажівці Kenworth T400, типовому комерційному транспортному засобі. Характеристики автомобіля, включаючи всі компоненти, крім компонентів силової передачі, наведено у таблиці 3.1. Дві різні ваги базового транспортного засобу розглядаються для випадків, коли транспортний засіб має корисне навантаження (завантажений) або не має корисного навантаження (не завантажений).

Таблиця 3.1

Характеристики модельованого автомобіля ICEHV

Компонент	Характеристика
Колісна база	9,75 м
Радіус колеса	0,5 м
Вага транспортного засобу (не завантажена)	5933 кг
Вага транспортного засобу (завантажена)	11333 кг
Коефіцієнт опору коченню	0,00938
Аеродинамічний коефіцієнт	0,7
Площа лобового опору	8,55 м ²

Всі чотири конфігурації, що моделюються, використовують двигун із запаленням від стиснення (CI) з меншим розміром двигуна для трьох гібридних моделей. Моделі багаторежимні та THS мають практично однакові компоненти силових установок, а при паралельній конфігурації включені ті ж моделі двигуна і мотор-генератора.

Оскільки чотири різних конфігурації матимуть різну вагу, була спроба врахувати ці відмінності. У дослідженні, проведеному науково-дослідним інститутом електроенергетики, вага силового агрегату звичайного транспортного засобу була на 20% меншою, ніж у силової установки гібридного транспортного

засобу з паралельною схемою [24]. Ця різниця була врахована у цьому дослідженні. Крім того, передбачалося, що силові установки THS та багаторежимні силові установки були важчими, ніж у стандартного транспортного засобу на 25 % та 27 % відповідно. Останні два припущення про вагу були зроблені дещо довільно; однак припущення відображають оцінки ваги додаткових мотор/генераторів (MG), силових електроніки та пристрої розподілу потоків потужності (PSD). Також необхідно звернути увагу, що представлені значення потужності двигунів є номінальними, а не піковими.

3.1.1. Моделювання

Для порівняння було обрано різні цикли при їзді, які представляють типові умови роботи важких комерційних автомобілів. Витрата палива вимірювали протягом циклів, представлених на рисунку 3.1, та описані в посібнику з програмного забезпечення ADVISOR. Ці цикли при їзді включають:

1) Міський трафік руху для транспортних засобів великої вантажопідйомності (UDDS_{HDV}), що представляє ідеалізований міський трафік руху для важких транспортних засобів. Цикл включає середньо або високошвидкісний рух з періодичними повними зупинками. Пікова швидкість циклу становить 93,3 км/годину, а середня швидкість 30,3 км/годину за інтервал 1061 с. Пікове прискорення становить 2,0 м/с².

2) New York City Truck (NYCT) – характерний трафік з керування важким транспортним засобом у Нью-Йорку. Цикл має дуже низьку середню швидкість лише 12,1 км/год, а також максимальну швидкість 54,7 км/год. Пік прискорення становить 2,0 м/с² а тривалість циклу становить 1017 с.

3) Міський приміський маршрут для важких транспортних засобів (CSHVR) – сукупність коротких поїздок, типових для транспортних засобів великої вантажопідйомності. Швидкості варіюються від повільних приміських швидкостей до найвищих міських швидкостей. Пікова швидкість циклу становить 70,5 км/год та середня швидкість 21,8 км/год. Пік прискорення становить 1,2 м/с², а тривалість циклу 1781 с.

4) Тест економії палива на автомагістралях (HWFET) – використовуваний

ЕРА США для сертифікації CAFE. У цьому циклі найвища середня швидкість з усіх чотирьох циклів із середнім значенням $77,2 \text{ км/год}$. Пікова швидкість становить $96,3 \text{ км/год}$, пік прискорення – $1,4 \text{ м/с}^2$, а тривалість циклу – 766 с .

Результати дослідження показують, що багаторежимні зміни є перспективними для використання у важких транспортних засобах з різним ступенем корисного навантаження. Результати моделювання витрати палива представлені рисунку 3.2 для випадку без навантаження і рисунку 3.3 випадку з навантаженням. Як видно з малюнків, модель багаторежимного транспортного засобу перевершила автомобілі THS та автомобілі зі звичайними силовими агрегатами у всіх циклах їзди та за всіма умовами завантаження.

Середня відсоткова різниця між витратою палива, досягнутим у багаторежимному та звичайному виконанні становить $22,4\%$, при цьому найбільша різниця спостерігається при CSHVR (при завантаженні) – $57,8\%$.

Середня відсоткова різниця між витратою палива, досягнутим у багаторежимному та THS-виконанні становить $65,1\%$, при цьому найбільша різниця спостерігається для CSHVR (без завантаження) – $88,1\%$.

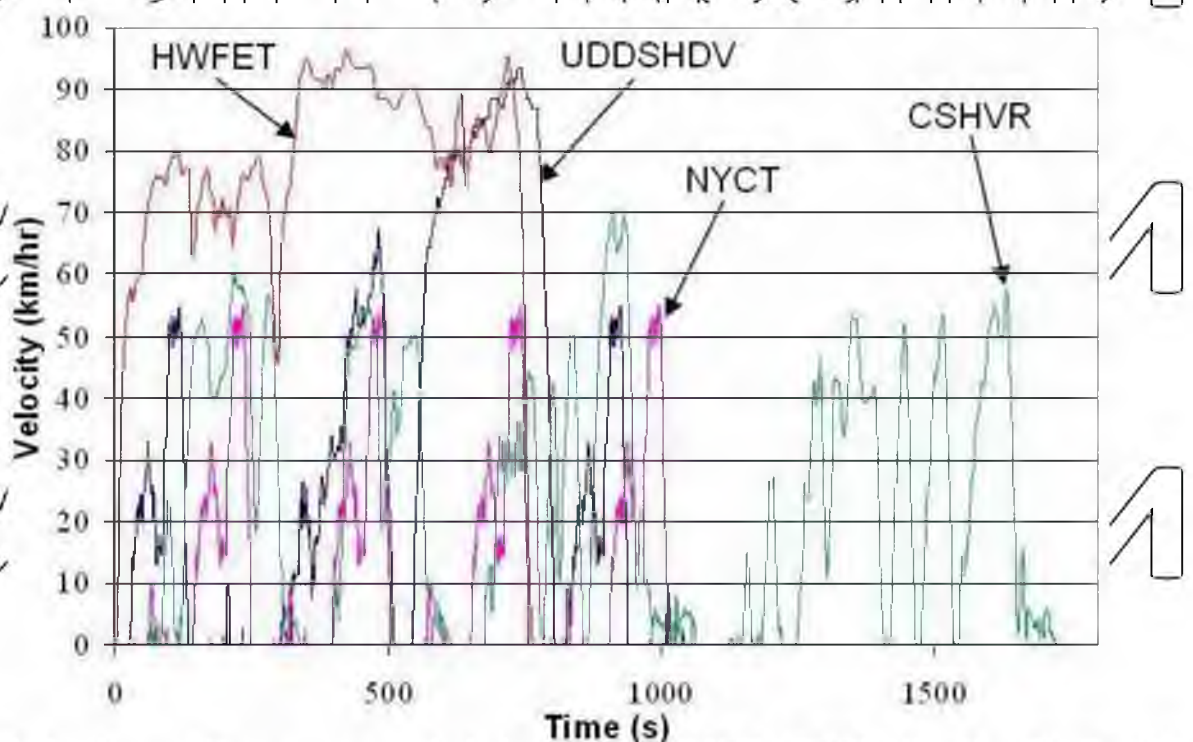


Рис. 3.1 – ІСЕНУ імітація циклів їзди

Мультирежим не дозволяє знизити витрату палива в середньому порівняно з

гібридом із паралельним приводом. Середня відсоткова різниця між багаторежимним та паралельним виконанням становить 3,3%, при цьому найбільша різниця спостерігається для NYCT (з навантаженням) - 20,1%

Тим не менш, багаторежимне виконання перевершує паралельне у чотирьох випадках: UDDSHDV (без навантаження) - 1,2%; CSHVR (без навантаження) - 11,6%; HWFET (без навантаження) - 9,6%; та HWFET (завантажений) - 4,7%. Таким чином, багаторежимне виконання силової установки є найкращим для пересування шосе.

Паралельна схема гібридного транспортного засобу як найбільш поширена конструкція гібрида для комерційних транспортних засобів продемонструвала найкращу загальну продуктивність і середню відсоткову різницю у витраті палива на 25,6% порівняно зі звичайною конструкцією силового агрегату.

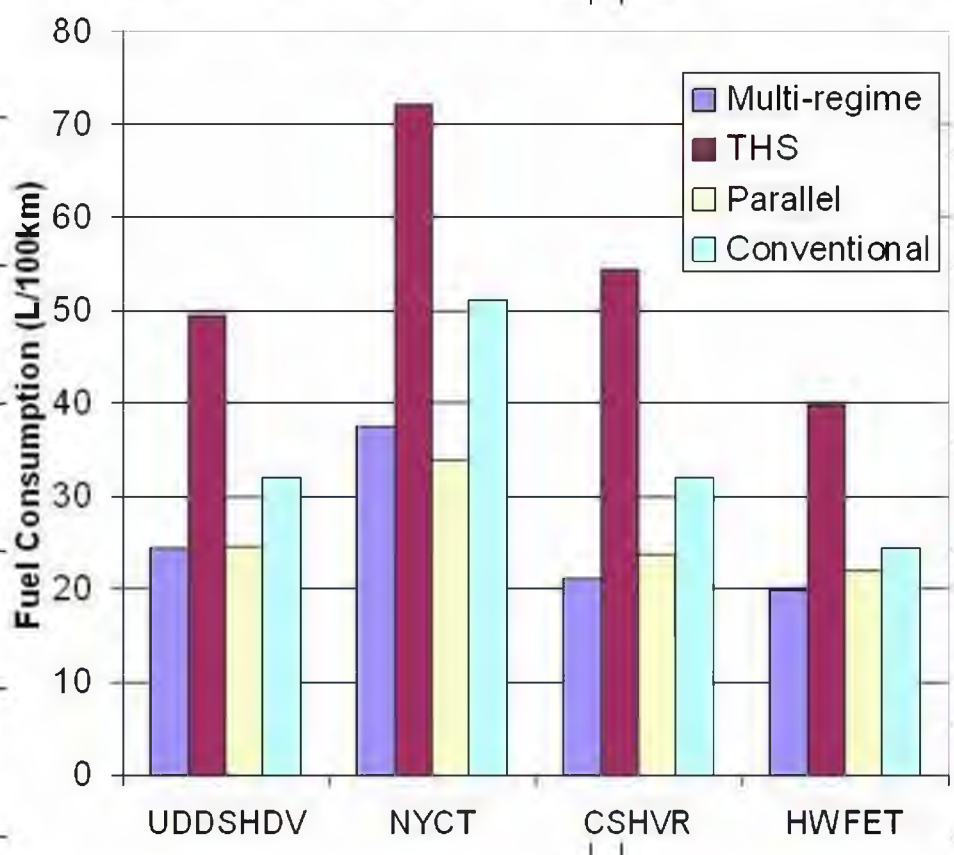


Рис. 3.2 - Результати моделювання ICEHV: витрата палива у незавантаженому автомобілі

Конфігурація THS вийшла сильно неадекватною для вибраних циклів їзди для важкого транспортного засобу з різним корисним навантаженням. Так THS-виконання не показало поліпшень у витраті палива - середнє споживання палива

збільшилося на 44,5% порівняно з автомобілем із звичайною конструкцією силового агрегату, а порівняно з гібридом із паралельним приводом різниця у споживанні палива в середньому становила 68,0%.

Моделювання багаторежимної конфігурації також необхідно детально проаналізувати. Як приклад було обрано цикл приводу CSHVR із завантаженими та незавантаженими умовами роботи. На рисунку

3.4 показано істужність двигуна протягом усього циклу їзди. Як і очікувалося, вимоги до потужності двигуна значно вищі за повного завантаження - в середньому на 18,9 кВт.

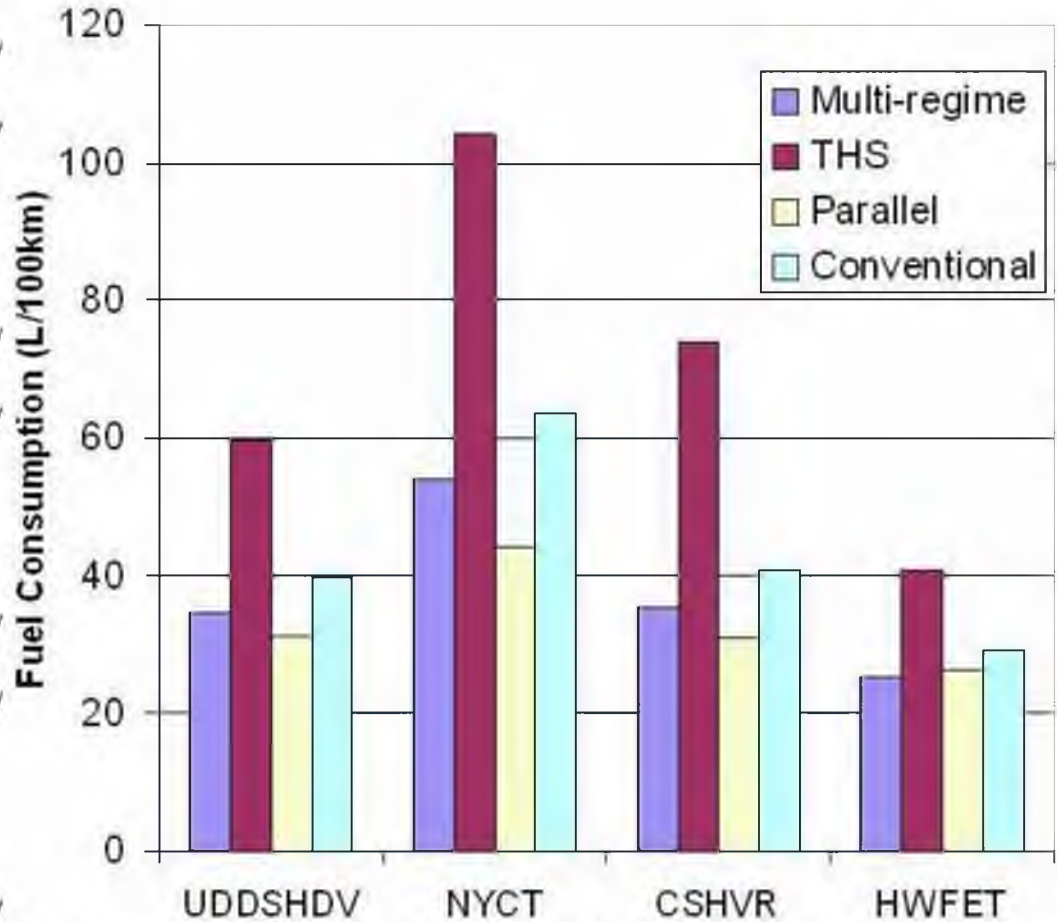


Рис. 3.3 - Результати моделювання ІСЕНУ: витрата палива у завантаженому автомобілі

На рисунку 3.5 показано потужність першого мотор-генератора MG1 протягом усього циклу руху. Як і у випадку з потужністю двигуна, навантажений автомобіль вимагає від мотор-генератора більшої потужності - в середньому 7,4

кВт та вище.

На рисунку 3.6 показано потужність другого мотор-генератора MG2 протягом усього циклу руху. Тут також навантажений автомобіль вимагає від мотор-генератора більшої потужності – у середньому на 6,8 кВт вище.

Рис. 3.7 зображує стан заряду системи накопичення енергії (ESS SOC) протягом усього циклу руху. У цьому випадку середнє значення стану заряду (SOC) для незавантаженого автомобіля несподівано нижче, ніж у завантаженого. Середня різниця між двома випадками становить 1,6%. Невідомо, чи є цей результат похибкою моделювання при керуванні живленням або робота двигуна в незавантаженому автомобілі менш ефективна за умов моделювання.

Результати моделювання показують, що багаторежимна і паралельна конфігурації помітно впливають на поліпшення характеристик витрати палива в порівнянні з базовим стандартним транспортним засобом. Однорежимна конфігурація працює погано на відміну інших трьох. Паралельна конфігурація забезпечує найнижчу витрату палива в цілому, однак рівень, досягнутий при багаторежимній конфігурації в цілому не гірший.

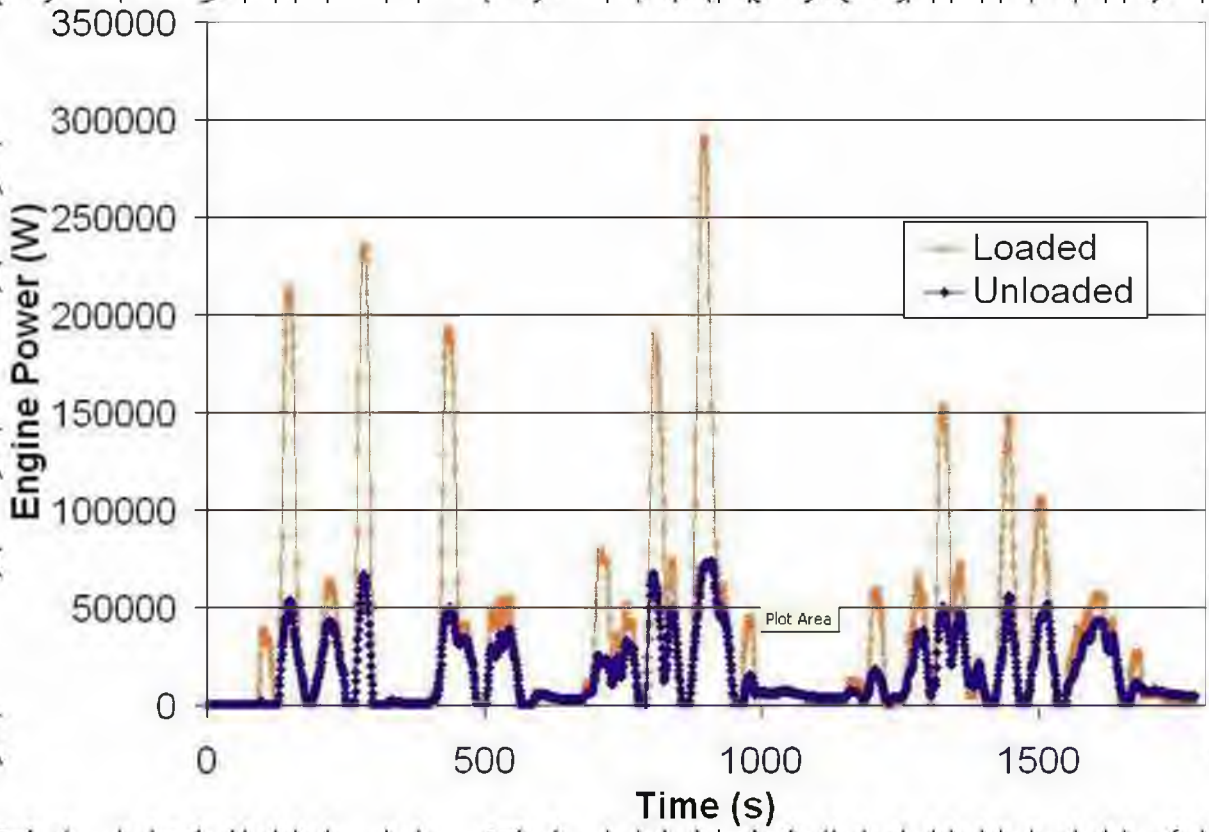


Рис. 3.4 – Результати моделювання ICEHV: потужність двигуна з багаторежимною конфігурацією силової установки на трасі "Місто-передмістя"

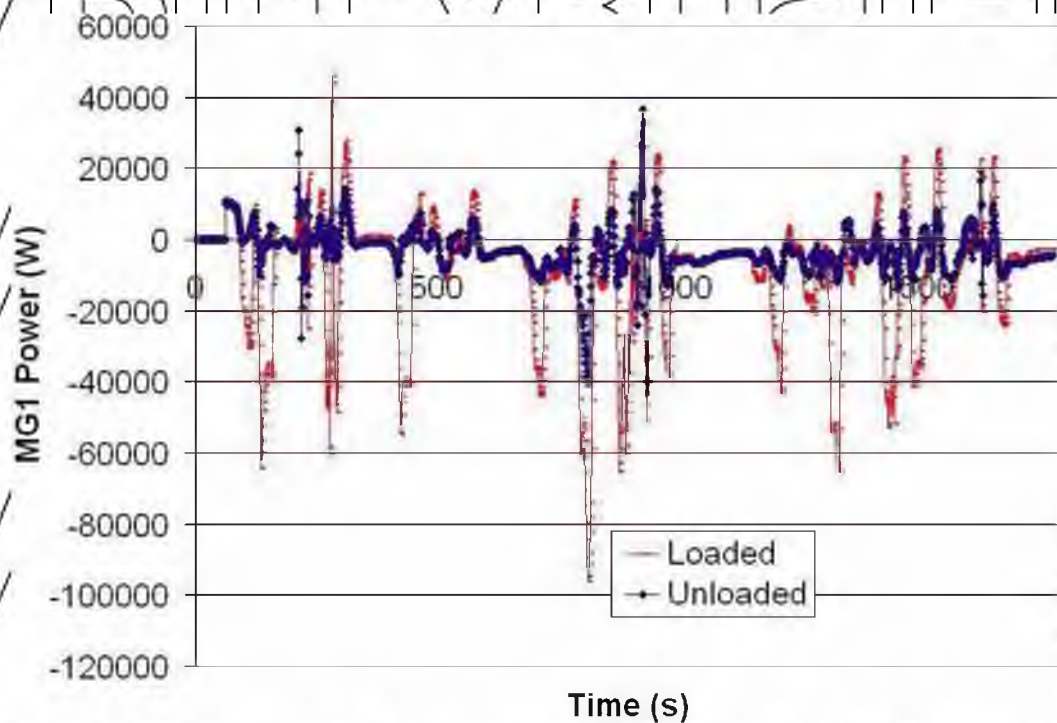


Рис. 3.5 – Результати моделювання ICEHV: потужність першого мотор-генератора з багаторежимною конфігурацією силової установки на трасі "Місто-передмістя"

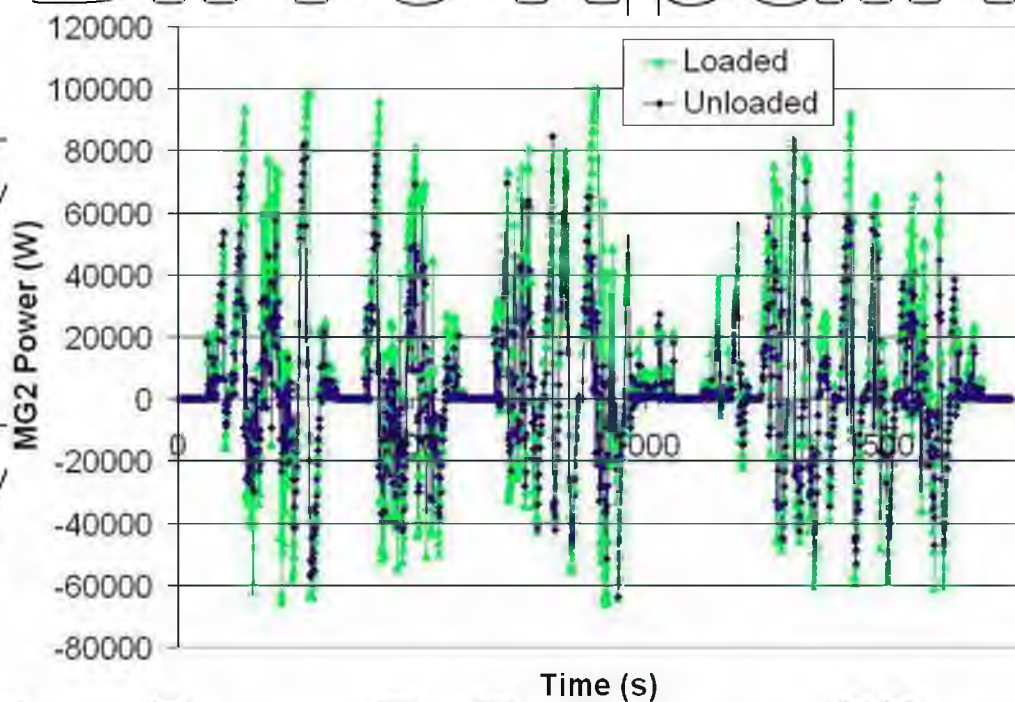


Рис. 3.6 – Результати моделювання ICEHV: потужність другого мотор-генератора з багаторежимною конфігурацією силової установки на трасі "Місто-передмістя"

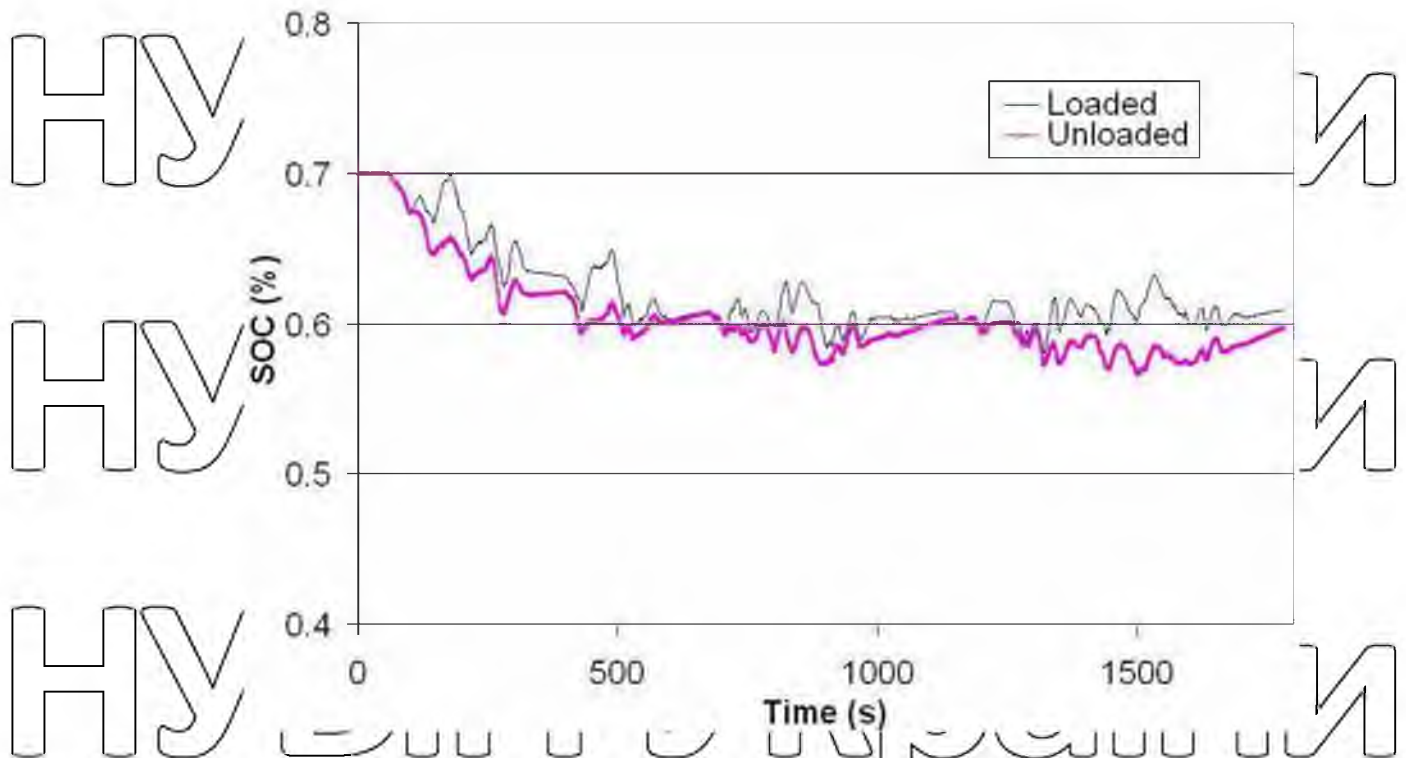


Рис. 3.7 - Результати моделювання ICEHV: ESS SOC-крива з

багаторежимною конфігурацією силової установки

на трасі "Місто-передмістя"

Аналіз результатів моделювання дозволяє зробити кілька висновків. По-перше, було показано, що багаторежимна конфігурація є досить перспективним проектом для поліпшення витрати палива, особливо в транспортних засобах з умовами завантаження, що сильно змінюються (наприклад, комерційних вантажівок). Як видно, спроба моделювання показала результати максимально наближені до продуктивності найпоширенішого гібрида з паралельним приводом важких транспортних засобах. Дослідження продемонструвало потенційні переваги вдосконаленої концепції багаторежимного проектування порівняно з однорежимними конфігураціями.

По-друге, стратегія керування живленням гібридних транспортних засобів є важливою сферою для потенційного покращення.

Оскільки гібриди з паралельним приводом є набагато поширенішими, то і стратегії моделювання та контролю мають мінімальну кількість припущень.

Що стосується продуктивності однорежимної конфігурації, то напрашується висновок про те, що існуюча стратегія управління живленням, реалізована в

ADVISOR не може бути застосована до великого комерційного транспорту. Результат не говорить про те, що ця конфігурація в принципі не підходить для більш важких транспортних засобів. При правильній вибраній стратегії управління живленням конфігурація може перевершити продуктивність навіть гібрида з паралельним приводом, хоча, ймовірно, вона не зможе покращити витрату палива, досягнуту на гібриді з багаторежимною конфігурацією силової установки.

Подальше моделювання має бути зосереджено на розробці стратегії управління живленням багаторежимної конфігурації, тим більше, що вона забезпечує більше можливостей для підвищення продуктивності, ніж однорежимна структура.

Проведені дослідження можуть бути корисними на провідних виробничих майданчиках для вантажних та пасажирських перевезень.

3.2 Моделювання систем паливних елементів

У цьому підрозділі розглянуто моделювання системи паливних елементів гібридних транспортних засобів. Моделюються потоки повітря, водню та води через систему, а також допоміжні компоненти системи паливних елементів (FCS) та те, як вони інтегровані у загальну модель FCS. Моделі потоку включають колектори, через які реагенти і продукти проходять вгору і вниз по потоку, відповідно.

Компоненти обладнання включають: компресор для приведення повітря реагенту до необхідного тиску, систему охолодження (що складається з водяного насоса і вентилятора радіатора) для підтримки необхідної робочої температури та два зволожувачі для забезпечення належного рівня водяної пари.

Була зроблена спроба моделювання у поєднанні з динамічною моделлю відгуку напруги, яка дозволить врахувати тимчасову реакцію системи зміну необхідного струму. В даний час перехідна складова моделі не реалізована.

Системні рівняння були запрограмовані у MATLAB.

Схема системи паливних елементів, що включає потоки і компоненти BOP, показана нижче на рисунку 3.8. На рисунку зображені контури газоподібного

водню та повітря, контур системи зволоження та система охолодження.

Компоненти обладнання одержують енергію від тієї системи, яка виробляється роботою паливного елемента, тим самим знижуючи загальну вихідну потужність. Газоподібний водень, що випускається, знаходиться під тиском, аналогічним тому, яке потрібно для батареї, і, таким чином, компресор для анодної сторони осередку часто не потрібно; у цьому випадку достатньо регулятора тиску та електромагнітного клапана. Подальші дослідження можуть містити повну модель зберігання водню. На рисунку 3.7 водень, який бере участь у електрохімічній реакції, випускається в атмосферу. Однак можна припустити, щоб цей втрачений газоподібний водень був об'єднаний з воднем під тиском за допомогою системи рециркуляції. Додатковий модуль рециркуляції включено до моделі. Повітряний фільтр показано для повної картини; передбачається, що він вносить незначні фізичні зміни у модель. Це потенційно суперечить дослідженням, де повітряний фільтр може призвести до втрати до 70% загальної потужності в установці обробки повітря.

3.3 Дослідження систем паливних елементів

Комплексне моделювання є оптимальним методом зниження витрат і часу на проектування. Важливим кроком у цьому є використання методів оптимізації визначення оптимальної конструкції без необхідності створення дорогих і трудомістких фізичних прототипів. Можливі рішення для прискорення комерціалізації паливних елементів у транспортних засобах можуть бути реалізовані набагато якісніше, якщо попередньо було проведено узагальнену оптимізацію.

Наприклад, якщо визначено оптимальну гібридизацію для конкретного транспортного засобу, то згодом покращаться експлуатаційні характеристики транспортного засобу.

Оптимізація широко використовується в багатьох областях проектування, але порівняно недавно була представлена в літературі з проектування паливних

елементів. Конструкції системи паливного елемента, механізмів, що керують роботою паливного елемента, мають настільки складну природу, що цільова функція може мати безліч локальних мінімумів, а отже, оптимізація таких систем може бути досить складною. Пошук наукової літератури показує, що спроби суворої оптимізації FCS щодо рідкісні.

Проте дослідження паливних елементів з використанням методів оптимізації були проведені декількома дослідницькими групами.

Груйїциц із співавторами [25] використовують двовимірну обчислювальну модель, щоб оптимізувати електричний струм на ширину паливного елемента при напрузі елемента 0,7 Ст. Алгоритм оптимізації був заснований на методі послідовного квадратичного програмування (ЛМК). Для отримання максимальної величини електричного струму були використані експлуатаційні параметри (вхідний тиск повітря) та геометричні параметри (товщина катода, довжина катода).

Маварді із співавторами [26] використовували одновимірну механістичну модель паливного елемента для оптимізації густини потужності з урахуванням обмежень кількох робочих параметрів. Оптимізація дозволила кількісно отримати ступінь впливу товщини мембран і електродів, а також величини концентрації на значення оптимальних умов експлуатації.

Відносно недавно Ву із співавторами [27] виконали оптимізацію робочих умов протонообмінної мембрани паливного елемента (PEMFC) з використанням математичного моделювання та повної тривимірної моделі. Аналізованими робочими параметрами були рівень зволоження катода, катодний тиск, стехіометрія катода і температура комірки.

Ванг і Донг [28] використовували напівемпіричну модель, засновану на даних з аналізу Балларда Марка IV та нову схему оптимізації, яку вони назвали методом адаптивної поверхні відгуку (ARSM), щоб знайти оптимальну конфігурацію запатентованої конструкції батареї паливних елементів. Було показано, що конкретна модель, відома як модель радіатора TERS, має покращену продуктивність, а оптимізація також мінімізувала вартість пристрої.

Напівемпірична модель не включає явища, які необхідні для точної комплексної моделі батареї паливних елементів. Оптимізація дозволила максимізувати потужність для п'яти розрахункових змінних: стехіометрія повітря, ширина батареї, висота батареї, ширина конвекційних ребер та кількість осередків.

Ху та Донг [29] використовували напівемпіричну модель паливного елемента Ballard Marka IV разом з декількома моделями для допоміжних систем, заснованих на кривих продуктивності, щоб створити модель FCS. Були отримані оптимальна площа перетину активної зони та стехіометричне співвідношення повітря для максимізації корисної потужності. При цьому виробничі витрати зведено до мінімуму.

Годат і Маречал [30] використовували дуже просту модель батареї паливних елементів як частину системи, що включає реактор парової метанової конверсії (SMR), водогазообмін (WGS) і реактор кращого окислення (PROX) для повної переробки палива. Мета оптимізації полягала в тому, щоб визначити оптимальні значення відношення пари до вуглецю, температури SMR, температури диму в трубі та рівня використання палива.

Франгопоулос та Накос [31] провели спільну оптимізацію продуктивності та вартості PEMFC. При оптимізації продуктивності використовувалися тільки температура і щільність струму як вступні змінні, ігноруючи великий вплив стехіометрії тиску і повітря на продуктивність системи.

В цілому, підбиваючи підсумки, щоб мати можливість використовувати метод оптимізації, необхідно визначити проблему, яка містить кілька суперечливих цілей. Наприклад, для оптимізації окремого осередку батареї, де вихідна потужність має бути максимізована, суперечливі цілі в основному пов'язані з проблемами керування теплом та водою. Наприклад, якщо стехіометрія повітря мала, повітря зможе усунути всю воду, що утворилася в катоді осередку, і в газодифузійному шарі батареї (GDL) відбудеться затоплення, що призведе до значного зменшення енергії, що генерується в потужність.

З іншого боку, якщо стехіометрія дуже велика, мембрана висихає, знижуючи протонну провідність і, отже, зменшуючи вихідну потужність. Існує оптимальне

значення стехіометрії повітря, для якого достатньо води для зволоження мембрани без затоплення в газодифузійному шарі, саме при цьому досягається максимальна вихідна потужність.

Таким чином, модель, яка використовується при оптимізації, повинна припускати, що мембрана повністю гідратована, отже, вищезгаданий конфлікт цілей не виникає. Через відсутність суперечливих цілей оптимізація вихідної потужності окремого елемента або батареї паливних елементів дає нереалістичні результати, оскільки змінні конструкції впливають на загальну продуктивність.

Тому для вирішення суперечливих завдань система паливних елементів має бути оптимізована загалом.

У тут потужність, споживана допоміжними системами, створює кілька конфліктів інтересів, коли чиста вихідна потужність має бути максимізована.

Робота паливного елемента значно покращується при високій температурі та тиску, однак це збільшення призведе до більш високих втрат потужності через допоміжні системи, зокрема через систему охолодження та повітряного компресора відповідно. Саме через ці суперечливі інтереси конструкція системи паливних елементів є елементом для постійної оптимізації.

Щоб вирішити проблему оптимізації, модель системи паливних елементів, що описана в попередньому підрозділі, має бути пов'язана з потрібними алгоритмами оптимізації. Зв'язок між алгоритмом оптимізації і моделлю досягається за допомогою проектних змінних, цільової функції та обмежень.

Для проведення оптимізації вибирається початкове значення для проектних змінних або алгоритм оптимізації, або користувачем. Що стосується глобальних методів початкове значення проектних змінних вибирається випадковим чином. У разі локального методу, користувач сам вводить початкові значення для змінних проекту.

Значення проектних змінних потім надаються моделі системи паливних елементів. Модель системи паливного елемента потім обчислює продуктивність системи. З цих результатів, програма обчислює значення цільової функції з урахуванням проектних обмежень. За допомогою цієї інформації алгоритм

оптимізації вибирає новий набір проектних змінних, які можуть потенційно підвищити продуктивність системи. Цей процес повторюється доти, доки буде досягнуто цільова функція.

3.4 Рекомендації щодо застосування багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів та способів їх моделювання

Розвиток гібридних технологій в автомобілебудуванні йде прискореними темпами і для того, щоб не відстати остаточно, необхідно широко впроваджувати ці технології в нашій країні.

Посилення норм викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище підвищує популярність гібридних технологій у автовиробників по всьому світу, а це, у свою чергу, може призвести до радикальних змін у способах та методах розробки автомобільних продуктів.

У цьому ключі комплексне моделювання є оптимальним методом для зниження витрат і часу на проектування гібридних транспортних засобів. Важливим фактором у цьому процесі є використання методів оптимізації для створення покращень у конструкції без необхідності створення дорогих і трудомістких фізичних прототипів.

Для оптимізації роботи транспортного засобу потрібне керування потоком енергії в режимі реального часу. Це особливо важливо зараз, коли зростає складність систем силових установок гібридних автомобілів. Таким чином, очікується, що потреба в комп'ютерному моделюванні, симуляції та оптимізації комплексних систем на протязі усього процесу проектування та розробки буде лише зростати.

Метою цієї роботи було дослідження методів моделювання та оптимізації багаторежимних гібридних силових установок автомобілів.

Далі викладено основні висновки та внесок, що впливають із різних аспектів проведеного дослідження.

Багаторежимна конфігурація дозволяє проводити більш тонке налаштування гібридних силових установок транспортних засобів, оскільки є адаптованішою до

різноманітних типів транспортних засобів і областей їх застосування.

Було проаналізовано дослідження, де багаторежимна конфігурація порівнюється однорежимною конфігурацією THS, гібридом з паралельним приводом і стандартним силовим агрегатом. Причому багаторежимну модель було розроблено шляхом значної модернізації моделі THS

Проведений аналіз показав, що багаторежимна конфігурація дозволяє покращити витрату палива, особливо в таких транспортних засобах, як комерційний вантажний транспорт і транспорт для пасажирських перевезень, тобто з умовами завантаження, що періодично змінюються. Моделювання показало результати максимально наближені до продуктивності найпоширенішого гібрида на важких транспортних засобах – гібрида з паралельним приводом. Причому в чотирьох випадках, що моделюються, багаторежимна конфігурація перевершила гібрид з паралельним приводом.

При багаторежимної конфігурації гібридного транспортного засобу, як і всіх гібридах, система накопичення енергії ESS допускає рекуперативне гальмування; використовувати повністю електричний режим AER і здатність вимикати двигун, коли його робота не потребує. Все це дозволяє знизити зношування гальм і шкідливі викиди в навколишнє середовище, а також підвищити економію палива.

Багаторежимна конфігурація, порівняно з гібридом з послідовним приводом, має менший електродвигун і при цьому ефективність роботи при високих навантаженнях підвищується.

На відміну від гібрида з паралельним приводом, багаторежимна конфігурація дозволяє від'єднувати двигун від трансмісії, забезпечуючи менші втрати та ефективнішу роботу, особливо на низьких швидкостях. Нарешті, кілька режимів поділу потужності вивченої багаторежимної конфігурації забезпечують ефективну роботу в ширшому діапазоні навантажень, ніж у конструкції THS з поділом потужності.

Основним аспектом, відсутнім у досліджуваній багаторежимній конфігурації є стратегія управління харчуванням. Стратегія управління живленням координує роботу підсистем транспортного засобу для

досягнення цільових показників продуктивності, таких як максимальна економія палива та зниження викидів вихлопних газів.

У моделі використовується модифікована версія стратегії, розробленої в ADVISOR для схеми поділу потужності THS. Було зроблено висновок, що стратегію управління харчуванням можна суттєво покращити.

У літературі опубліковано багато робіт, у яких обговорюють різноманітні методології розробки стратегії управління харчуванням. Одним з найбільш поширених методів є використання евристичних методів керування, таких як правила керування, нечітка логіка або нейронні мережі. Однак ці методи не забезпечують оптимальну стратегію і можуть забезпечувати ефективну роботу для циклів приводу, які розглядалися етапі програмування алгоритму.

Щоб отримати оптимальну стратегію управління живленням, зазвичай використовує один із двох методів оптимізації. Перший клас методологій оптимізації має справу з алгоритмами миттєвої оптимізації, розробленими для застосування у реальному часі. Другий клас заснований на алгоритмах глобальної оптимізації, для яких цикл приводу надається апріорі, та визначається оптимальна стратегія для даного циклу руху. Остання стратегія перевищує миттєві результати оптимізації, але потребує значного часу на обчислення та потужності обладнання, і не може бути виконана в режимі реального часу. В результаті методи глобальної оптимізації були значною мірою обмежені дослідженнями моделювання.

Однак методи GO можуть забезпечити оптимальні результати, які можна використовувати як зразок для оцінки продуктивності стратегії управління живленням в реальному часі миттєвих алгоритмів. Алгоритм миттєвої оптимізації, який показує продуктивність, найбільш наближену до продуктивності методів глобальної оптимізації, буде оптимальною стратегією управління живленням у реальному часі.

Для розглянутої багаторежимної конфігурації пропонується використовувати ітеративний процес для підвищення продуктивності та зменшення вартості гібридного автомобіля за рахунок комбінованої оптимізації стратегії управління живленням та визначення розмірів компонентів, що

використовуються. Спочатку буде зроблено припущення про компоненти силової установки, і буде визначено оптимальну стратегію управління живленням для цих компонентів. Потім встановлюється стратегія управління живленням та проводиться оптимізація розмірів компонентів. Цей процес триватиме доти, доки покращення з кожною ітерацією не стануть суттєвими.

Ця стратегія формує новий метод визначення глобальної оптимальної конфігурації як оптимальної стратегії управління харчуванням, і оптимального вибору компонентів. Поєднання двох завдань оптимізації дозволить отримати дійсно оптимальну конфігурацію.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВОК

Споживання такого ресурсу, як паливо, залежить від багатьох факторів.

Мають значення транспортні умови, клімат та якість дорожніх покриттів та, нарешті, характер експлуатації автотранспорту. Можна з упевненістю сказати, що особливості рельєфу місцевості та тип пересування транспортного засобу мають важливий вплив на ефективність використання паливних ресурсів. Методики та нормативна документація визначають оптимальний рівень паливних витрат під час руху транспортного засобу. Але ці нормативи регламентують витрата на рівних дорогах, які, часто зустрічаються у мережі доріг України.

Особливо актуальним питанням є собівартість вантажоперевезень за допомогою автотранспорту, особливо якщо взяти до уваги той факт, що вартість паливної сировини неухильно стає вищою.

Як відомо, гібриди чудово демонструють свої переваги на вулицях мегаполісів, там, де їм доводиться дуже часто розганятися та гальмувати. У вантажних гібридних транспортних засобів, що працюють у містах з частими розгонами та гальмуваннями, економія палива сягає 25-35%.

В результаті виконання даної роботи було запропоновано використовувати ітеративний процес при моделюванні оптимальної конфігурації автомобіля за рахунок комбінованої оптимізації стратегії управління живленням.

Метою цієї роботи було дослідження методів моделювання та оптимізації багаторежимних гібридних силових установок автомобілів.

Для досягнення мети вирішено такі завдання:

- проаналізовано структури гібридного автомобіля;
- проаналізовано існуючі розробки гібридних технологій у автомобілебудуванні;
- досліджено методи моделювання та оптимізації багаторежимних гібридних силових агрегатів автомобілів;
- представлені результати моделювання системи паливних елементів гібридних транспортних засобів;

-розроблено рекомендації щодо застосування багаторежимних силових установок автомобілів, а також способи їх моделювання та оптимізації.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці теоретичних та практичних положень, сукупність яких дає системне вирішення задачі дослідження методів моделювання та оптимізації багаторежимних гібридних силових установок автомобілів.

Головною метою даної роботи був аналіз проведених досліджень з багаторежимної конфігурації гібридних силових установок, які дозволять надалі розробникам гібридних агрегатів почати не з чистого листа.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гібридні вантажівки: моделі, конструкції, перспективи [Електронний ресурс]. - 2019. - URL: <http://www.autotruck-press.ru/articles/4457/> (Дата звернення: 09.03.2019).
2. Все про гібриди: історія, принцип роботи, переваги [Електронний ресурс]. - URL: <https://sferacar.ru/blog/vse-o-gibridah-istoriya-princip-raboty-preimushhestva> (Дата звернення: 25.05.2019).
3. Бензин, дизель... А може, гібрид? Що вибрати? [Електронний ресурс]. - 2012. - URL: <https://www.infocar.ua/arts/article-8009.html> (Дата звернення: 25.05.2019).
4. Пристрій схема гібридних автомобілів [Електронний ресурс]. - URL: <https://www.autoshcool.ru/1592-ustrojstvo-sхема-gibridnyx-avtomobilej.html> (Дата звернення: 25.05.2019).
5. Гібридна трансмісія [Електронний ресурс]. URL: <https://wiki.zr.ru/> (Дата звернення: 26.05.2019).
6. Гібридна силова установка автомобіля [Електронний ресурс]. - URL: <https://www.studiplom.ru/Technology-DVS/hybrid.html>. (Дата звернення: 26.05.2019).
7. Шабанов, А.В. Застосування комбінованих силових установок на автомобілях та екологічна безпека довкілля / А.В. Шабанов, В.В. Ломакін, А.А. Шабанов, В.І. Сальников // № 1 (15). - С. 232-239.
8. At the heart of automotive revolution [Електронний ресурс]: URL: <http://www.samsungsdi.com/automotive-battery/products/battery-module.html>. (дата звернення: 15.05.2019)
9. Batteries & Energy Products: Automotive Battery [Електронний ресурс]: URL: <https://eu.industrial.panasonic.com/products/batteries-energy-products/automotive-battery> (дата звернення: 15.05.2019)
10. Ultracapacitor Overview [Електронний ресурс]: URL: <https://www.maxwell.com/products/ultracapacitors> (дата звернення: 15.05.2019)
11. Automotive Battery [Електронний ресурс]:

URL:<https://www.lchem.com/global/vehicle-battery/car-batteries/product-detail-PDEB0001> (дата звернення: 15.05.2019)

12. Hybrid Electric Vehicles and the Battery [Електронний ресурс]:

URL:https://batteryuniversity.com/learn/article/hybrid_electric_vehicles_and_the_battery (дата звернення: 15.05.2019)

13. Без двигуна немає руху, а отже немає автомобіля [Електронний ресурс] - 2015. - URL:<http://samzan.ru/191260> (дата звернення: 03.06.2019)

14. Вихлопна енергія: не вилетить у трубу [Електронний ресурс]. - 2013.

- URL:https://www.f1-portal.ru/index.php?id_notes=2780 (дата звернення: 03.06.2019)

15. Ліпман, Т. Гібридний електричний і газовий сектор технологічного інновації: hybrid і zero-емісія технологічних мереж / Т. Lipman, R. Hwang // Proceedings of the 2013 20th International Electric Vehicle Symposium and Exposition. - Long Beach, 2015. - 26 с.

16. Khateeb, S. (2014). Design/ simulation of lithium-ion battery with phase change material thermal management system for electric scooter / S. Khateeb, M. Farid, J. Selman, S. Al-Hallaj // Journal of Power Sources. - 2014. - № 128. - С. 292-307.

17. Tesla Roadster [Електронний ресурс]. - URL:<https://www.tesla.com/roadster> (Дата звернення: 05.06.2019).

18. Суперконденсатори. Пристрій та застосування. Види та робота [Електронний ресурс]. - URL:<https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/obladnannya/superkondensatory/> (Дата звернення: 07.06.2019).

19. Переваги транспорту суперконденсаторах [Електронний ресурс]. - URL:<https://www.ultracapacitor.ru/stati/superkondensatory> (Дата звернення: 07.06.2019).

20. Wouk, V. (2000). Hybrids e coming! / V. Wouk // Proceedings of the 20th International Electric Vehicle Symposium. - Montreal, QC.

21. Електричний та гібридний автотранспорт. Аналітичний огляд [Електронний ресурс]. - 2014. - URL:<http://portal>

energo.ru/articles/details/id/746/(дата звернення: 15.06.2019)

22. Водневі технології та концепти BMW [Електронний ресурс]. - 2017. - URL: <https://avtonov.info/hydrogen-bmw> (дата звернення: 12.06.2019)

23. Пат. 6478705 United States МПК F 16 H 3/72 Hybrid electric powertrain, що включає два-моди електричні variable transmission / Holmes AG, Schmidt MR заявник і патентовласник General Motors Corporation. - Заявив 19.01.21; опубл. 12.11.22 - 7 с.

24. Miller, JM Propulsion Systems для Hybrid Vehicles. - London: Technology & Engineering, 2014 - 455 с.

25. Grujicic, M., Design and optimization of polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells / M. Grujicic, KM Chittajallu // Applied Surface Science. - 2014. - № 227. - С. 56-72.

26. Mawardi, A. Optimization of Operating Parameters of Proton Exchange Membrane Fuel Cell for Maximum Power Density / A. Mawardi, F. Yang, R. Pitchumani // Journal of Fuel Cell Science and Technology. - 2015. - № 2. - С. 121-135.

27. Wu, J. Toward the optimization of operating conditions for hydrogen polymer electrolyte fuel cells / J. Wu, Q. Liu, H. Fang // Journal of Power Sources. - 2016. - № 156. - С. 388-399.

28. Wang, G. Adaptive Response Surface Method - Global Optimization Method Scheme for Approximation-based Design Problems / G. Wang, Z. Dong // Journal of Engineering Optimization. - 2021. - № 33. - С. 707-734.

29. Xue, D. (1998). " Optimal fuel cell system design considering functional performance and production costs / D. Xue, Z. Dong // Journal of Power Sources. - 2018. - № 76. - 3. 69-80.

30. Godat, J. Optimization of fuel cell system using process integration techniques / J. Godat, F. Marechal // Journal of Power Sources. -2016. - № 118. - С. 411-423.

31. Frangopoulos, C. Розробка моделі для thermoeconomic design і функціонування optimization of PEM fuel cell system / C. Frangopoulos, L. Nakos //

Energy. -2015. - №31. - С. 1501-1519.

32. Можливості використання спеціальних знань при розслідуванні дорожньо-транспортних пригод / Авт.-уклад С. О. Шевцов. – Х.: СПД-ФФ Чальцев О. В., 2015. 308 с.

33. Методи оцінки кінематичних і динамічних параметрів транспортних засобів під час зіткнення з урахуванням їх деформування і руйнування. Київський науково-дослідний інститут судових експертиз (КНДІСЕ). К.: КНДІСЕ, 2015. 64 с.

34. Рекомендації щодо використання в практичній діяльності та комплектування пересувної автотехнічної лабораторії (позитивний досвід роботи відділення автотехнічних експертиз та оцінювальної діяльності НДЕКЦ при УМВС України в Харківській області з організації огляду місць дорожньо-транспортних пригод). Київ: Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, 2016. 32 с.

35. Дячук В. І. Оцінка слідчим висновку експерта-автотехніка як джерела доказів. *Право і Безпека*. 2014. № 1. С. 168-173.

36. Галак І. І. Особливості призначення та проведення технічної експертизи та її роль при розслідуванні ДТП. *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. Вип. 26. С. 84-88.

37. Трофименко Н. С. Питання призначення та проведення деяких видів судових експертиз (за матеріалами узагальнення експертної практики). *Вісник Академії митної служби України*. Серія: «Право». 2018. № 1 (10). С. 107-112.

38. Туренко А. М., Сараєв О. В. Оцінка ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди: монографія. Х.: ХНАДУ, 2015. 350 с.

39. Сараєв О. В. Метод оцінки ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди: дис. ... докт. тех. наук. Харків: ХНАДУ, 2016. 418 с.

40. Данець С. В. Оцінка параметрів руху транспортних засобів при реконструкції дорожньо-транспортних пригод: дис. ... канд. тех. наук. Харків: ХНАДУ,

2018. 321 с.

41. CRASH-3 Technical manual. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, National Center for Statistics and Analysis Accident Investigation Division. 2016.

42. Cliff W. E., Moser A. Reconstruction of Twenty Staged Collisions with PC-Crash's Optimizer. SAE Paper №2001-01-05-07.

43. Сарасв О. В. Новітні технології дослідження обставин дорожньо-транспортної пригоди. Вісник Національного транспортного університету. 2013. Вип. 28. С. 405-414.

44. Косяков В. В., Кучерявенко О. Б. Використання комп'ютерної програми CARAT-3 при проведенні автотехнічних експертиз : метод. рек. К.: ДНДЕКЦ МВС України, 2016. 40 с.

45. The Cad Zone. Веб-сайт. URL: <http://www.cadzone.com> (дата звернення 26.09.2019).

46. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський С. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник. Вінниця : ВІТУ, 2015. 230 с.

47. Безпека дорожнього руху та деякі правові аспекти: навч. пос. МОН України / Кищун В. А., Кузнєцов Р. М., Мурований І. С., Лаба О. В. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2021. 226 с.