

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань 27 Транспорт
Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): 274 «Автомобільний транспорт».

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: **«Особливості експлуатації гібридних та електричних автомобілів»**

Шифр ДРАТ 24.21146.000 ПЗ

Виконав: студент 3-го курсу,
група АТс-21-2


Підпис

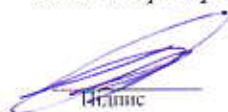
Андрій СКРИПНИК
Ініціали, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

Олександр ДИХА
Ініціали, прізвище

14 06 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*
Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*
Освітній рівень *бакалавр*

Спеціальність **274 «Автомобільний транспорт».**

Спеціалізація **«Автомобільний транспорт».**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


Диха О.В.
4 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Скрипнику Андрію Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: «Особливості експлуатації гібридних та електричних автомобілів»

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 15.02.2024 р. № 8 (Д 29)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Тенденції розвитку електромобілів.

2) Методика розрахунку автомобіля з ГСУ.

3) Розрахунок тягово-динамічних і паливно-економічних показників автомобілів.

4) Висновки, рекомендації

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04 березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Тенденції розвитку електромобілів.</i>	28.05.2024	вик
2	<i>Методика розрахунку автомобіля з ГСУ.</i>	8.06.2024	вик
3	<i>Розрахунок тягово-динамічних і паливно-економічних показників автомобілів.</i>	15.06.2024	вик
4	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	24.06.2024	вик
5	<i>Захист дипломної роботи</i>	26.06.2024	

Студент


Підпис

А. М. Скрипник
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

С. Ф. Посонський
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Судент групи АТс-21-2: Скрипник А.М.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «**Особливості експлуатації гібридних та електричних автомобілів**» складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 20 найменувань, розміщених на 2 сторінках, та 1 додатку розміщеного на 16 сторінках. Роботу викладено на 85 сторінці, з них 78 сторінок основного тексту, на яких розміщено 24 рисунок і 10 таблиць.

На сьогодні гостро стоїть проблема виснаження нафтових ресурсів. За нинішніх темпів споживання за прогнозами, її вистачить приблизно 90 – 110 років.

Великі виробники автомобілів бачать вирішення цих проблем у переході на альтернативні джерела енергії, та зменшення частки роботи бензинових та дизельних двигунів в автомобілі, за рахунок застосування спільно з ним електродвигунів (гібридні силові вузли), або застосування електродвигунів у поєднанні з системою акумуляторних батарей, що потребують зовнішнього джерела живлення для відновлення заряду (електромобілі).





Головна перевага гібридного автомобіля – зниження витрати палива та шкідливих вихлопів. Головний недолік – складність системи, що поєднує в собі електродвигун, акумуляторні батареї та двигун внутрішнього згорання. Перевага електромобілів – це відсутність двигуна внутрішнього згорання і, відповідно, відсутність систем мащення, живлення та охолодження двигуна. Але недоліки теж наявні, це висока вартість акумуляторних батарей та тривалий час відновлення їх заряду.

Мета роботи – аналіз експлуатації та оцінка тягово-динамічних і паливно-економічних властивостей гібридних автомобілів.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ; ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА; СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ; ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ; ПРИСКОРЕННЯ; ШВИДКІСТЬ; ЧАС.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	8
1.1 Сучасний стан ринку електромобілів.	8
1.2 Типи електромобілів.	12
1.3 Електромобілі BEV.	13
1.4 Електромобілі PHEV.	17
1.5 Принцип роботи plug-in hybrid.	21
1.6 Переваги використання plug-in hybrid.	22
1.7 Електромобілі HEV.	23
1.8 Електромобілі REEV.	26
1.9 Схеми взаємодії роботи електродвигуна та ДВЗ.	33
1.9.1 Послідовна схема взаємодії.	33
1.9.2 Паралельна схема взаємодії.	34
1.9.3 Послідовно-паралельна схема взаємодії	35
1.10 Огляд світових пристроїв.	37
1.11 Переваги та недоліки гібридних автомобілів.	38
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АВТОМОБІЛЯ З ГСУ	40
2.1 Методики оцінки динамічних характеристик автомобіля з ГСУ.	40
2.2 Паливна економічність.	41
2.3 Їздові цикли.	43
2.4 Методика тягово-динамічного розрахунку.	44
2.4.1 Методика розрахунку ГСУ із послідовною схемою.	44
2.4.2 Методика розрахунку ГСУ із паралельною схемою.	47
2.5 Методика паливно-економічного розрахунку для автомобілів із ГСУ.	50

ДРАТ 24.21146.000. ПЗ									
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата	Особливості експлуатації гібридних та електричних автомобілів	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав		Скрипник						4	85
Перевір.		Посонський							
Н.контр.		Бабак						ХНУ, АТс-21-2	
Затвер.		Диха							

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ	55
3.1 Тягово-динамічний розрахунок автомобіля.	55
3.1.1 Визначення повної маси автомобіля.	55
3.1.2 Підбір колеса та шин.	56
3.1.3 Вибір максимальної потужності силової установки.	57
3.1.4 Вибір ДВЗ та побудова його зовнішньої швидкісної характеристики.	58
3.1.5 Вибір ЕМ та побудова його швидкісної характеристики	61
3.1.6 Розрахунок узгоджуючого редуктора та побудова зовнішньої швидкісної характеристики ГСУ.	64
3.1.7 Визначення передавальних чисел.	66
3.1.8 Розрахунок тягово-динамічних показників.	66
3.1.9 Розрахунок прискорення.	67
3.1.10 Визначення часу, шляху та прискорення.	71
3.2 Паливно-економічний розрахунок.	77
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83
ДОДАТКИ	85

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Проблема забруднення довкілля автомобільним транспортом сьогодні дуже актуальна. На його частку припадає близько 40 % всіх викидів у атмосферу. У містах цей показник сягає 60 – 80 %. У автомобілях використовується також безліч експлуатаційних рідин, необхідних для роботи силового агрегату, зокрема мастильних матеріалів, утилізацією яких виникають проблеми. Відпрацьовані паливно-мастильні матеріали часто спалюють, забруднюючи атмосферу, або просто зливають прямо на землю, наносячи значну шкоду ґрунтовому покриву. Також гостро стоїть проблема виснаження нафтових ресурсів. За нинішніх темпів споживання за прогнозами, її вистачить приблизно 90 – 110 років.

Великі виробники автомобілів бачать вирішення цих проблем у переході на альтернативні джерела енергії, та зменшення частки роботи бензинових та дизельних двигунів в автомобілі, за рахунок застосування спільно з ним електродвигунів (гібридні силові вузли), або застосування електродвигунів у поєднанні з системою акумуляторних батарей, що потребують зовнішнього джерела живлення для відновлення заряду (електромобілі).

У сучасному світі гібридні та електро автомобілі набувають все більшу популярність. У багатьох автовиробників вже є гібридні та електро автомобілі власної розробки, а деякі виробники можуть похвалитися цілою лінійкою гібридних силових установок та автомобілів, які використовують такі установки.

Гібридний автомобіль це – високо економічний автомобіль, рухомий системою «електродвигун – двигун внутрішнього згорання» (ДВЗ), що живиться як паливом, так і зарядом електричного акумулятора. Електромобіль це – високо економічний автомобіль, рухомий електродвигуном, що живиться зарядом електричного акумулятора.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Головна перевага гібридного автомобіля – зниження витрати палива та шкідливих вихлопів. Це досягається повним автоматичним керуванням режиму роботи системи двигунів за допомогою бортового комп'ютера, починаючи від своєчасного відключення двигуна під час зупинки у транспортному потоці, з можливістю продовження руху без його запуску, виключно на енергії акумуляторної батареї, і закінчуючи складнішим механізмом рекуперації – використання електродвигуна як генератора електричного струму для поповнення заряду акумуляторів. Головний недолік – складність системи, що поєднує в собі електродвигун, акумуляторні батареї та двигун внутрішнього згоряння. Перевага електромобілів – це відсутність двигуна внутрішнього згоряння і, відповідно, відсутність систем мащення, живлення та охолодження двигуна. Але недоліки теж наявні, це висока вартість акумуляторних батарей та тривалий час відновлення їх заряду.

Мета роботи – аналіз експлуатації та оцінка тягово-динамічних і паливно-економічних властивостей гібридних автомобілів.

Завдання роботи:

1) Виконати аналіз особливостей конструкцій та умов роботи електромобілів.

2) Розробити методику розрахунку тягово-динамічних та паливно-економічних показників гібридних електромобілів з урахуванням особливостей їх компонентів та умов роботи.

3) Виконати чисельний розрахунок гібридних автомобілів за різними схемами поєднання.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Актуальність та необхідність впровадження електродвигунів замість двигунів внутрішнього згорання, зрозуміло, можна довести у різний спосіб. Одним із найпростіших способів є різницю в коефіцієнті корисної дії (ККД). ДВЗ менш ефективнішими, ніж електродвигуни. «На даний момент можна побачити з прикладу вантажопідйомних механізмів і важкої техніки, тобто. там де використовуються електродвигуни досить великої потужності для забезпечення механічного руху.

1.1 Сучасний стан ринку електромобілів.

Головною проблемою використання електротехнічних рішень у транспорт є портативне живлення. Акумуляторні батареї занадто дорогі, щоб використовувати їх набагато частіше, ніж паливо, що згоряє [1].

Незважаючи на те, що проблема забруднення міст досить сильно посилює вимоги до екологічності звичайного автомобільного палива, сучасний світ так і не перейшов повністю до гібридних та електричних видів транспорту на 100 %.

Обмежена кількість запасів нафти у світі і, відповідно, економічні ризики необхідно розглядати як одні з найважливіших рушійних сил для скорочення залежності від палива та необхідності в розробці абсолютно нових альтернативних варіантів та рішень. Для вирішення тих проблем, які виникають під час різноманітних рекламних стратегій альтернативних видів транспортних коштів, необхідно проаналізувати аналогічну політику області.

Електричний транспорт. Дослідницька робота в галузі живлення електромобілів украї актуальна на сьогоднішній день. В Україні ринок електромобілів тільки починає своє зростання. Проте тенденція розвитку показує, що рано чи пізно, значна частина міського автотранспорту буде

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

перетворено на електротранспорт. Очевидно, що в даний час ДВЗ практично досягли своєї теоретичної межі з економічності та екологічних показників, та подальше значне поліпшення цих показників навряд чи можливе. Такі показники, як надійність та вартісні показники ДВЗ не мають теоретичної межі, але динаміка їх розвитку досягла такого стану, коли навіть незначне їх покращення вимагає все більших матеріальних витрат і вже не представляється економічно доцільним.

У той час як перспективи розвитку та удосконалення автомобільних електродвигунів та акумуляторів видаються дуже великими, а обсягу ресурсів, необхідних для такого розвитку в даний час мають негативну динаміку. Все це дозволяє впевнено прогнозувати зменшення частки автомобілів з ДВЗ у майбутньому та зростання числа електромобілів та автомобілів з гібридною силовою установкою.

Сектор гібридних автомобілів зазнав якісних змін. З'являється все більше гібридних автомобілів, у яких ДВЗ перестає бути основним двигуном і йому все частіше відводиться допоміжна роль. Подібні гібридні автомобілі можуть вже заряджати акумулятори від зовнішніх джерел живлення та використання внутрішнього ДВЗ для цієї цілі не є необхідним [2].

А цей факт, у свою чергу, дозволяє ряду аналітиків відносити такі автомобілі до «електричних» і враховувати їх у статистичних оглядах саме як електромобілі. Основним стримуючим фактором для розширення сектора електромобілів на даному етапі стає не мала ємність акумулятора, а недостатньо розвинена інфраструктура для них використання. Заохочувальні програми для власників електромобілів, прийняті урядами низки країн і значно нижча вартість експлуатації призвели до того, що більш висока на даному етапі ціна електромобіля вже втрачає значення фактора, що утримує споживача від покупки» [3].

На перше місце, як фактор, що утримує від покупки електромобіля виходять складності із підзарядкою на трасі (недостатня кількість зарядних

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

станцій), істотно більший час зарядки, та ще не сформована до кінця інфраструктура обслуговування електромобілів. Тим не менш, той факт, що вже узгоджено стандарти зарядного інтерфейсу автомобілів дозволяє сподіватися, що вирішення цих проблем – питання недалекого майбутнього. При оцінці динаміки зростання автомобілів слід брати до уваги, по-перше, той факт, що ця динаміка поки що ще дуже нерівномірна по країнах світу та регіонах. Лідери, такі як США чи Китай демонструють вражаюче зростання, тоді як у країнах третього світу і навіть у деяких країнах Євросоюзу (наприклад, Кіпр) електромобіль все ще залишається рідкісною екзотикою. По-друге, саме поняття «Електромобіль» ще до кінця не сформувалося, і деякі експерти відносять до електромобілів, як автомобілі тільки з електричним двигуном, так і гібридні автомобілі з можливістю зовнішньої підзарядки. Тоді як інші готові під терміном «електромобілі» розуміти машини з виключно електричною силовою установкою» [3].

Тим не менш, незалежно від підходу можна побачити подібну картину експонентного зростання для будь-якого сектора цього ринку. Так, за даними EV-volumes, який під терміном «Електрокар» розуміє як чисто електричні автомобілі (BEV), так і гібриди (PHEV), в 2014 році обсяг ринку «електрокарів» (а саме BEV+PHEV) у період з 2017 по 2023 виріс майже в 19 разів. З 170 тис. до 3,2 мільйонів на рік. При цьому середнє щорічне зростання протягом усього періоду становило 50 %, що говорить про експоненційне зростання, рисунок 1.1 [4].

Обсяг українського ринку електромобілів незначний у порівнянні зі США, Китаєм чи європейськими країнами. Його частка становить менше ніж 0,1% від світового споживання. Обсяг ринку електромобілів до 2014 року не перевищував ста одиниць. Активне зростання обсягів продажу електромобілів почалося з 2021 року. Серйозний вплив на збільшення кількості електромобілів мало зниження цін на вживані електромобілі, що експортувались з країн ЄС. Адже максимальний ресурс акумуляторної

						ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

батареї складає 8 – 10 років, після чого вона потребує заміни, а ціна нової батареї, це 80 % від ціни автомобіля.

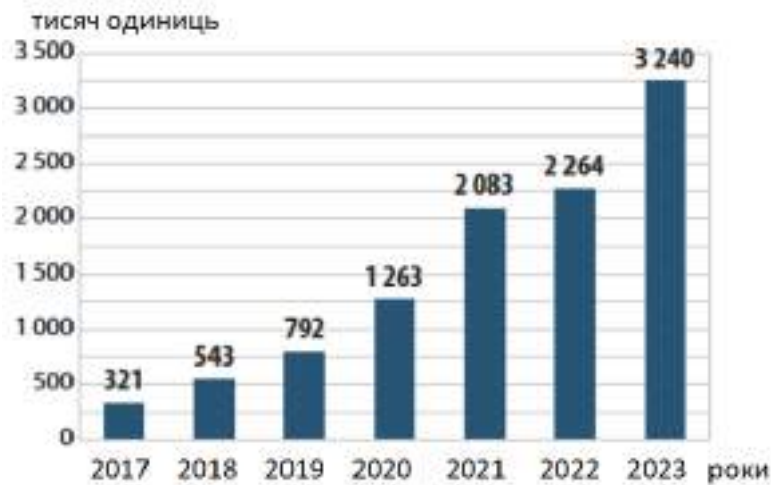


Рисунок 1.1 – Динаміка світового ринку електромобілів у 2017-2023 роках.

Розповсюдженню електромобілів в Україні сприяє прояв інтересу до них із боку бізнесу. Використання електромобілів у корпоративних автопарках активно розглядається з боку великих логістичних компаній, операторів таксі та каршерингу і не тільки. Так, наприклад, у травні 2015 року уряд Японії передав Україні 348 автомобілів Toyota Prius. Машини призначалися для патрульної поліції Києва, яка, до речі, тоді ще навіть не вийшла на патрулювання вулиць столиці. В цілому, починаючи з 2013 року, Нацполіція отримала 1568 автомобілів Prius, а з 2017 року – 635 Mitsubishi Outlander PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle – гібридний автомобіль із зарядженням від електромережі. Одна така машина, зокрема, виробляє до 70 % менше газових викидів).

"Пріус" - це зовсім не подарунок Україні від Японії. Київські копії отримали «гібриди» у рамках так званого Кіотського протоколу. За цим протоколом українська влада передала японцям квоти на викиди парникових газів, які ми через розрухи в промисловості все одно не використовуємо. Зазначається, що структура отримала гібридний транспорт зі скидкою в 13%,

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТ 24.21146.000. ПЗ					

що загалом зекономило 124,5 мільйона гривень. Повна вартість одного автомобіля Mitsubishi Outlander PHEV становить 1,562 мільйона гривень [4].

Японці ж фактично розплатилися з нами автомобілями Toyota Prius, на яких тепер і їздить столична поліція.

1.2 Типи електромобілів.

Розглянемо і розберемо що з себе представляє електромобіль, які бувають види і чи дійсно майбутнє у сфері автомобільного транспорту за ними. Електромобіль – це автомобіль, якого приводить у рух один або кілька електродвигунів з використанням як джерела живлення незалежне джерело електроенергії, наприклад такі як: акумулятори, конденсатори, паливні елементи тощо), але ніяк не двигун внутрішнього згорання. Електромобіль необхідно відрізнити як від автомобілів з електричною передачею та двигуном внутрішнього згорання, так і від трамваїв та тролейбусів. Під терміном електромобіль так само мається на увазі автомобіль, у якого використовується електрична енергія для приводу провідних коліс, яка у свою чергу отримана від хімічного джерела струму. На рисунку 1.2 наведено основні типи електромобілів [5].



Рисунок 1.2 – Основні типи електромобільної промисловості.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.3 Електромобілі BEV.

BEV – це електромобіль із батарейним живленням, який отримує абсолютно всю енергію від своїх акумуляторів та електродвигунів. В ньому повністю відсутня ДВЗ. В електродвигуні використовуються акумулятори, які виробляють свою зарядку від джерела електроенергії, тобто від зарядного пристрою або від мережевої розетки. Прикладом такого типу електромобілів можуть бути (рисунок 1.3):

1. «Volkswagen e-Golf» [6]. Надійний та практичний електромобіль VW e-Golf вперше показав себе у Франкфурті на початку 2013 року і виготовляється до тепер. У комплектації автомобіля наявні всі необхідні для комфортного та безпечного пересування: сидіння водія з електричними регулюваннями та пам'яттю, комбінований шкіряний салон, світлодіодна головна оптика, стельовий люк, безключовий доступ, дзеркала з електрорегулюванням та електричним приводом складання, електричний асистент паркування, TPMS (система контролю тиску в шинах), фронтальні та бічні подушки безпеки (airbag) для переднього та заднього ряду сидінь, клімат-контроль, подушка безпеки (airbag) для колін водія, мультируль, мультимедійна система з великим сенсорним екраном, круїз контроль, камера заднього виду, та багато іншого

2. «Nissan LEAF» [7] - електромобіль японського концерну Nissan, що серійно випускається з весни 2010 року. Світова прем'єра відбулася на міжнародному Токійському автосалоні у 2009 році. Нижнє розташування найважливого елемента автомобіля – акумуляторної батареї – забезпечує кращу стійкість у порівнянні з традиційними автомобілями такого класу та більш високу жорсткість конструкції для п'ятидверних хетчбеків подібної конструкції. Привід електромобіля – передній. Електромобіль обладнаний 17" легкосплавними дисками; LED фарами; інтелектуальною системою кругового огляду; інтелектуальною педаллю E-Pedal; підігрівом керма,

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

передніх та задніх сидінь; підтримкою Google Android Auto, Apple CarPlay та 6 подушками безпеки.

3. «Tesla Model 3» [8] - п'ятимісний електричний седан виробництва компанії Tesla. Модель було представлено 31 березня 2016 року. Tesla Model 3 розроблена на новій платформі, яка відрізняється від тієї, що використовується в Tesla Model S та Tesla Model X. Електромобіль обладнаний сенсорним п'ятнадцяти дюймовий екраном, замість звичайної приладової панелі до якої звикли автомобілісти, на який виводяться всі дані. Слід відмітити, що базова комплектація включає наступні комплектуючі: потужну аудіосистему із сабвуфером, вісім подушок безпеки, круїз-контроль із системою автоматичного гальмування, камеру заднього вигляду, світлодіодні фари, двозонний клімат-контроль, а також безліч інших корисних функцій.

Характеристики даних електромобілів наведено у таблиці 1.1.



а)

б)

в)

Рисунок 1.3 – Представники електромобілів BEV:

а) – Volkswagen e-Golf; б) – Nissan LEAF; в) – Tesla Model 3.

Акумуляторні електромобілі здійснюють свою роботу лише на накопиченій електроенергії. Основними компонентами такого електромобіля є: високовольтна батарея, один або кілька електродвигунів постійного або змінного струму та контролера, який необхідний для управління силової електронікою.

Електродвигун, в порівнянні з ДВЗ, забезпечує високий та постійний крутний момент у досить широкому діапазоні швидкостей, починаючи від 0 км/год. Отже, більшості електромобілів BEV не потрібна ні знижувальна

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

вимагає додаткових систем, таких як, наприклад, стартер, кпп чи системи вихлопу. Дослідження, яке провів Науково-дослідницький інститут, «Гайслінген-ан-дер-Штайге», Німеччина, показало те, що необхідно своєчасне обслуговування електромобілів обходиться до 33 % менше, ніж у звичайного ДВЗ. Заряджання електромобілів BEV проводиться від електромережі, де ефективність зарядного пристрою цілком може досягати показників від 58 % до 88 %. Сам собою двигун більш ніж ефективний. ККД такого двигуна знаходиться в проміжку від 84 % до 96 % у повному діапазоні швидкостей. Перетворення з акумулятора - постійного струму на змінний струм для двигуна за допомогою інвертора - можливо лише з ККД в районі 94 %. Цей показник дає загальний ККД понад 68 %. В свою чергу, ефективність автомобілів з ДВЗ менше 20 %, але в деяких автомобілях, що використовують як паливо - дизель, показники на даний момент сягають 40 %.

Доступні на сьогоднішній день електромобілі BEV найбільш схожі зі звичайними автомобілями з дизайну, безпеки та комфорту. Одними з найпопулярніших прикладів виробництва електромобілів є Renault Zoe, Nissan Leaf, які у свою чергу ведуть конкурентну боротьбу з Chevrolet/Opel Bolt, Tesla Model S Jaguar XJ, Mercedes S-Class та BMW 7-Series. Велика кількість виробників використовують вже існуючі платформи для проектування та подальшого виробництва своїх електромобілів або запозичують конструкцію BEV із моделей, чи технологій.

Газ CO₂ виділяється тільки в момент процесу виробництва BEV, але також слід зазначити, що CO₂ абсолютно не виділяється самим BEV. Проте мережа, що відправляє енергію на зарядні станції BEV, поповнення батареї все ж таки може виділяти CO₂. З огляду на цей факт, електромобілі викидають на 45 – 50 % менше CO₂, ніж автомобілі з звичайним ДВЗ.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.4 Електромобілі PHEV.

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) - це гібридний автомобіль з електромотором та ДВЗ. Акумулятор необхідно заряджати від зовнішніх джерел енергії. Як правило, акумулятор PHEV має достатньо більшу ємність, ніж у звичайних гібридів. Відповідно і запас ходу на одному баку набагато більше.

Особливості даних електромобілів:

- Абсолютно нова автономна зарядна станція для зарядки гібридів, що підключаються до цієї мережі.

- Система, яку використовують паливні елементи має обмежений постійний термін служби та набагато меншу вартість, при порівняння її з АКБ.

- Зарядна станція у даних електромобілів повністю автономна, саме тому немає потреби в місцевих електромережах. Дана станція повністю заснована на відновлюваних джерелах енергії.

- Новітня схема МРРТ, в якій є функція регулювання кроку, застосовується не тільки до фотоелектричної, а й до вітрової частини даної станції.

Принцип роботи плагін гібридного автомобіля показаний на рисунку 1.4. Прикладом гібридного електромобіля з електромотором та ДВЗ можуть бути: (рисунок 1.5):

1. Range Rover PHEV, плагін-гібридна (Plug-In Hybrid - PHEV) модель P400e. Поєднуючи в собі двох літровий 4-х циліндровий бензиновий двигун та електромотор потужністю 105 кВт, силовий агрегат P400e, що надає 404 к. с., забезпечує високий крутний момент та низькі експлуатаційні витрати, витрата палива у комбінованому циклі – 3,3 л/100 км. Емісія CO₂ становить 74 г/км, Позашляховик має запас ходу до 43 км виключно на електротязі з нульовими викидами вихлопних газів. Це стосується і руху по бездоріжжю,

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

де миттєва передача крутного моменту, з електричного мотора посилює функціональність

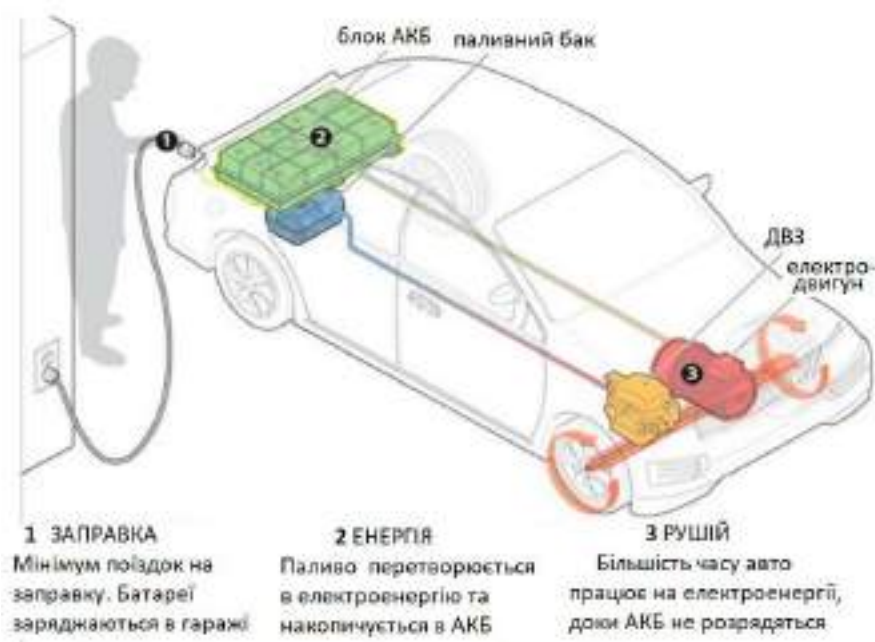


Рисунок 1.4 – Принцип роботи плагін гібридного автомобіля та його основні вузли [4].

2. Toyota Prius XW50 Plug-in Hybrid [9] це друге покоління, що помітно відрізняється від звичайного гібрида Toyota Prius. Суттєво відрізняється технічна частина, лише на одній електротязі XW50 може проїхати 35,4 км, що у півтора рази більше, ніж у першого покоління, але менше, ніж у конкурентів. Вважається найефективніший у класі: в електричному режимі так звана еквівалентна витрата становить менше 2 літрів палива на 100 км пробігу. В результаті бак на 42,8 літра разом з повністю зарядженою батареєю дозволяє проїхати 965 км.

Такий результат забезпечується за рахунок підвищення ККД ДВЗ (бензиновий 1,8 л 2ZR-FXE), зниженої ваги, покращеної електричної частини, оптимізованої тягової батареї та кращої аеродинаміки. Цікава особливість конструкції, що генератор при інтенсивному розгоні перетворюється на електромотор, допомагаючи основному тяговому електродвигуну та ДВЗ.

Літієво-іонний тяговий акумулятор (8,8 кВт·год) можна зарядити від побутової електромережі напругою 110 В за 5,5 год. Від мережі напругою 240 час зарядки скорочується вдвічі. Процесом зарядки можна керувати через додаток «Prius Prime Apps» зі смартфона.

Характеристики даних автомобілів наведено у таблиці 1.2.



а)

б)

Рисунок 1.5 – Представники електромобілів BEV:

а) – Range Rover PHEV P400e; б) – Toyota Prius XW50 Plug-in Hybrid

Таблиця 1.2 – Характеристики топових PHEV автомобілів.

Характеристики	Range Rover PHEV P400e	Toyota Prius PHEV XW50
Пробіг автомобіля:		
- без підзарядки (на електродвигуні), км	48	60
- без дозаправки, км	827	1150
Потужність електродвигуна + ДВЗ, к.с.	404	122
Час прискорення з 0 до 100 км/год, с.	6,8	10,6
Максимальна швидкість, км/год	210	180
Об'єм ДВЗ, літрів	2,0	1,8
Тип палива	бензин	бензин
Витрата палива на 100 км, л.	2,8	3,3
Роки виробництва:	2019 - 2022	2011-2016
Об'єм багажника, л.	472	502
Тип кузова: 5-ти дверний	позашляховик	хетчбек
Привід	повний	передній

У друкованих та інтернет-публікаціях останнім часом дуже багато інформації про «заряджені» гібриди:

- Якась кількість плагін-гібридів пройшли тести в державні організації та комерційні США;

- Найбільші автомобільні концерни слідом один за одним випускають все новіші прототипи гібридних, що підключаються, для того, щоб представити їх на різних міжнародних виставках;

- деякі автомобільні компанії вже зараз готові розповісти про дату запуску виробництва плагін-гібридних електромобілів.

На даний момент це ніяк не допомагає звичайному покупцеві придбати на особисте використання такий автотранспортний засіб. А все через дуже високу вартість. У той час як вийшов перший прототип плагін гібрида, так в той же момент і почали надходити подібні варіанти автотранспортних засобів багатьох автовиробників.

Витрата 2 літри бензину на 100 км це реально? Установа “California Cars Initiative” у 2005 році впевнено показало, що такі показники витрати палива цілком реальні. Родоначальники цієї організації Рон Гремплєн та Фелікс Краплєр внесли істотні зміни до моделі 2004 року випуску – Toyota Prius на плагін-гібридний прототип. Дальність пробігу цього плагін - гібрида дорівнює 160 км. Дану дистанцію автомобіль витратив лише 3 л палива. Після здійснення цього проекту компанія “CalCars” проводить кампанії про переваги, що з'явилися. електромобілів і гібридних електромобілів, що заряджаються, для громадськості, законодавців та виробників.

З кожним днем збільшується перелік підприємств, що виготовляють модифікації чи спеціальне обладнання. Велика кількість компаній проектує та створює автомобілі для використання в державних автопарках. Однак, приймає замовлення так само і від приватних осіб.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.5 Принцип роботи plug-in hybrid.

Основою плагін - гібридів є силова установка, що складається з бензинового та електричного двигунів. У плагін-гібридному автомобілі першу головну роль відіграє електромотор, який приводить автомобіль у рух. Бензиновий ДВЗ включається в роботу при сильному натисканні газу або досить швидкому наборі швидкості. Даний механізм дає плагін-гібриду такі переваги:

- мінімальна витрата палива на 100 км руху плагін – гібрида;
- досить великий запас ходу;
- плагін – гібрид є «найекологічнішою версією автотранспортного засобу, обладнаного ДВЗ»;
- дуже суттєва економія палива;
- зменшення викидів в атмосферу вуглекислого газу.

Компанії з виробництва плагін - гібридів пропонують достатньо великий вибір модифікацій. На сьогоднішній день існує кілька сотень сервісів та безліч обладнання. Головний секрет плагін-гібридного автомобіля полягає в акумуляторах, а точніше у матеріалах їх виробництва, а саме:

1. Свинцево-кислотні акумуляторні батареї є найбільш доступними, але водночас зменшують запас ходу. Цей акумулятор виробляє середню кількість енергії: 2,5 - 3 кВт*год. Мінуси цього АКБ: низька продуктивність (для забезпечення високої продуктивності необхідно використовувати більше великогабаритні блоки), низька довговічність. Плюси даних АКБ: достатня мінімальна безпека, доступність.

2. Нікель-металогідридні акумуляторні батареї знаходяться в середині рейтингу, залишеного на підставі «енергетичного різноманіття». Абсолютно нормальне співвідношення акумуляованої енергії та вартості. Цей АКБ

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТ 24.21146.000. ПЗ				

виробляє приблизно 4 - 5 кВт*год. Мінуси даних АКБ: досить невисока (середня) продуктивність. Плюси даних АКБ: безпека та довговічність.

3. Літій-іонні АКБ, на даний момент, знаходяться на вершині еволюції акумуляторних батарей. Запас бортової енергії цього типу АКБ становить 9 кВт*год. Завдяки цьому пробіг плагін-гібридного електромобіля зростає на 60-70 км. Мінуси даних АКБ: дуже висока вартість (ціна може досягати 12 000 \$). Плюси даних АКБ: хороший рівень безпеки, довговічність, значна кількість енергії, невелика вага блоків, нарощування запасу ходу.

1.6 Переваги використання plug-in hybrid.

У плагін - гібриді з'єдналися переваги електрокарів та звичайних автомобілів із ДВЗ. Водії, що керують підключеними гібридними агрегатами, на відносно невеликі дистанції їздять тільки на електриці. Дуже непогано зменшений паливний двигун використовується тільки для повної або часткової підзарядки акумуляторної батареї. Так само ДВЗ може бути використаний як основний двигун в автомобілі. Якщо враховувати економію палива, то плагін гібриди, безсумнівно, мають значну перевагу, якщо порівнювати з іншими його версіями:

- здійснення руху на біопаливі (біодизель або 85-відсотковий етанол) повністю виключає використання палива;

- моделі плагін-гібридів мають вдвічі більше економії палива, ніж бензиновий аналог тих же габаритів і з такими ж характеристиками, а також чистого гібриду;

Світова автомобільна промисловість все більше виробляє своє рух у бік електрифікації. За минулі 10 років майже всі великі компанії почали випуск своїх гібридних автомобілів з підзарядкою від мережі. Для покупця в Україні доступні плагіни 2 та 3 покоління Toyota Prius, Toyota Camry Hybrid Lexus RX450h, Lexus RX400h, Honda Civic Hybrid.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.7 Електромобілі HEV.

Гібридний електромобіль (HEV) - тип гібридного електромобіля та транспортного засобу, який одночасно поєднує електричну силову установку (трансмісію гібридного автомобіля) з силовою установкою ДВЗ. Наявність електричного силового агрегату необхідна для досягнення суттєвої продуктивності та економії палива. Найбільш яскравим прикладом HEV є Toyota Prius Hybrid. Даний гібрид забезпечує найнижчу витрату палива (бензину) (від 55 до 65 миль на годину) серед автомобілів, які використовують ДВЗ.

До переваг гібрида необхідно віднести:

- максимальне значення ККД (у цьому типі механізму);
- незмінні та стабільні оберти;
- суттєва економія палива;
- можна знехтувати установкою в агрегат коробки передач та зчепленням.

Мінусами гібрида є:

- енергія втрачає певну кількість у процесі її перетворення;
- висока ціна акумуляторної батареї, його вага досить велика.

Яскравим і найцікавішим прикладом гібридного автомобіля в світі є Audi A6 Gіbrid. Успішне поєднання функціональності та красивого дизайну, елегантності та економічності – всі ці показники описують новий Audi A6. Разом з цією моделлю виробник претендує на лідерство в автомобільній першості.

Технічні характеристики гібридного автомобіля Audi A6 Gіbrid:

- Час прискорення з 0 до 100 км/год – 5.1 сек.;
- Максимальна швидкість – 240 км/год;
- Витрата палива на 100 км – 6.2 л.;

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- Робочий об'єм двигуна 2.0 л;
- Роки виробництва: з 2019 до теперішнього часу;
- Об'єм багажника – 375 л.;

Принцип роботи гібридного автомобіля представлений рисунку 1.6.

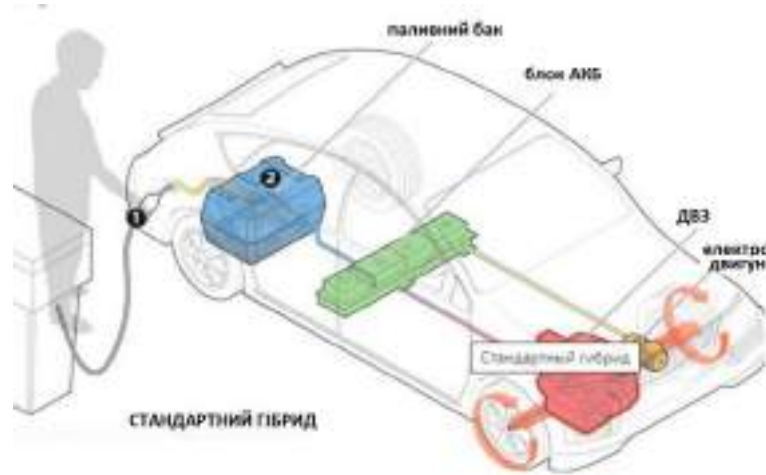


Рисунок 1.6 – Принцип роботи гібридного автомобіля, його основні вузли та агрегати [4]

Застосування електричної КПП обумовлено великою складністю втілення механічної передачі значного, але так само при цьому постійного, крутного моменту на провідні колеса транспортного засобу. ДВЗ володіють певною навантажувальною характеристикою, яка має оптимальні показники лише у невеликому інтервалі, який зміщений у бік вищих обертів. Даний недолік компенсують з допомогою застосування механічних КПП, які, у свою чергу, погіршують загальний ККД системи через свої втрати. Також ще однією складністю є практична неможливість зміни напрямку обертання валу двигуна для того, щоб забезпечити задній хід [5].

Навантажувальна характеристика електродвигуна абсолютно рівномірна протягом усього діапазону робочих частот. Електродвигун може бути миттєво зупинено, запущено та реверсовано. Також він не вимагає холостого ходу, що відповідно дозволяє повністю виключити механізм зчеплення з такого механізму як трансмісія. Так само в деяких випадках

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

дозволяє повністю її позбутися шляхом розміщення електродвигунів у самих колесах [2-3].

За умови застосування електротрансмісії двигун, який працює на звичайному паливі, надає обертання електрогенератору. В результаті, електричний струм, що виробляється через систему управління подається на електродвигуни, які, власне, і надають рух автомобілю. Саме в цьому випадку коректне порівняння з розміщеною електростанцією на електромобілі, яка виробляє електричний струм для його руху [5].

Принципова схема роботи гібрида загалом аналогічна, хоч і модифікована, насамперед, за рахунок додавання проміжного накопичувача електричної енергії. Акумуляторна батарея, у якої ємність менше, ніж у повністю електричного електромобіля, має меншу вагу.

Гібридний автомобіль поєднує переваги звичайного автомобіля з ДВЗ та електромобіля: вельми чималий ККД електромобілів (75...92 % порівняно з 30-45 % у звичайних автомобілів з ДВЗ) і дуже великий запас ходу без дозаправки автомобіля із ДВЗ.

Гібриди стали гарним рішенням деяких недоліків електромобілів таких як: дуже велика маса акумуляторних батарей, необхідність їх тривалої зарядки, недостатній рівень розвитку інфраструктури станцій поповнення заряду та дуже невелика дальність пробігу. В результаті власник гібрида отримує абсолютно всі переваги електромобіля, навіть без одного з найбільших недоліків - обмеження ліміту з пробігу за один заряд батареї. Автомобіль можна використовувати як звичайний електромобіль значну частину пробігу, а в момент падіння заряду нижче відведеного рівня, запускається невеликий дизельний чи бензиновий двигун та машина здійснює далі свій рух як гібрид, наводячи в роботу тяговий електродвигун та роблячи зарядку накопичувачів. Після того, як накопичувачі наберуть 100 % заряду двигун вимикається. Потім цей цикл повторюється [5].

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.8 Електромобілі REEV.

Range Extended Electric Vehicle (REEV) - це електромобіль з збільшеним запасом пробігу. У REEV енергію для акумулятора виробляє відносно невеликий паливний генератор. Принцип роботи та основні вузли електромобілів REEV показані на рисунку 1.7:

На сьогоднішній день електромобілі REEV – це найкраща альтернатива паливним автомобілям, яка допоможе зберегти звичний комфорт пересування на будь-які відстані, скоротивши при цьому споживання палива та викиди шкідливих речовин. Проте сучасні плагін-гібриди люблять ще за одну особливість – можливість їх використання як чистих електромобілів у міських умовах.

Для сучасних плагін-гібридів — запас ходу на електротязі — такий самий важливий критерій вибору при покупці, як витрата палива, керованість чи ціна [3]. Електромобіль REEV є повністю електричним автомобілем. Абсолютно вся рушійна сила електромобіля забезпечується за рахунок електродвигуна, але з невеликим ДВЗ, який забезпечує вироблення додаткової необхідної електроенергії.

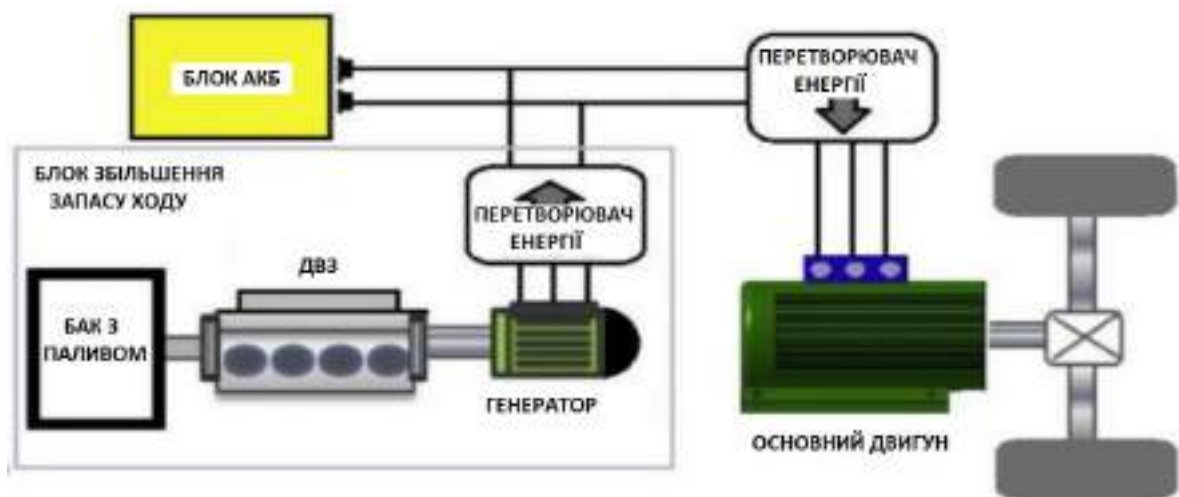


Рисунок 1.7 – Принцип роботи електромобіля зі збільшеним запасом ходу REEV, його основні вузли та агрегати [10]

Як альтернативу так само потрібно розглядати як гібрид з набагато більшою акумуляторною батареєю, а саме 15-20 кВтг. Коли АКБ розряджений до обраного рівня, двигун вмикається і починає свою роботу для того, щоб здійснити пуск генератора, який починає живити електродвигун та заряджати акумулятор. Саме це компонування дозволяє подолати встановлене обмеження діапазону, яке властиво BEV. На невеликих дистанціях електромобілі REEV можуть функціонувати у суто електричному режимі. Тобто, в цей момент вони є абсолютно такими ж енергоефективними та екологічно чистими, як BEV (на відміну від послідовних та паралельних гібридів з меншими акумуляторними батареями та дуже обмеженим електричним діапазоном). На досить великих відстанях REEV використовують систему «ICE» для того, щоб підтримати заряд АКБ, але при цьому споживають набагато менше палива, ніж звичайні «ICEV». Таке явище властиве з двох причин:

- Двигун REEV набагато менший, ніж у звичайного «ICEV». Йому необхідна лише середня споживана потужність, оскільки пікова потужність забезпечується з допомогою АКБ. Однак двигуну «ICEV» необхідно також витримувати стрибки пікової потужності, таких як, наприклад, прискорення.

- Двигун REEV здійснює свою роботу з постійною швидкістю обертання, а двигун «ICEV» найчастіше працює на високих чи низьких швидкостях обертання, за яких у тій чи іншій ситуаціях його ефективність вкрай невисока.

Особливістю REEV є розширювач діапазону Range Extender. «Розширювач діапазону паливна допоміжна силова установка (APU), яка розширює діапазон дії акумуляторної батареї електромобіля, що приводить в дію електричний генератор, який заряджає акумулятор транспортного засобу.

Найчастіше використовуваними розширювачами діапазону є двигуни внутрішнього згорання, але можуть використовуватись паливні елементи або інші типи двигунів.

										Арк.
										27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Автомобілі з розширювачем діапазону також згадуються як електромобілі зі збільшеним запасом ходу (REEV), електромобілі з збільшеним запасом ходу (REEV) та акумулятор зі збільшеним запасом ходу - електромобіль (BEV) від Каліфорнійської ради з повітряних ресурсів (CARB). Ключова функція розширювача діапазону – збільшити запас ходу автомобіля. Автономність запасу ходу є одним з основних перешкод на шляху комерційного успіху електромобілів, а збільшення дальності дії транспортного засобу при розрядженні батареї допомагає зменшити занепокоєння щодо запасу ходу [10].

Конструкція автомобіля з розширенням діапазону також може знизити споживання діапазону палива, що розширюється (наприклад, бензин), використовуючи основне паливо (наприклад, акумуляторну батарею), при цьому зберігаючи запас ходу автомобіля, що працює на одному паливі, живленням від палива, що збільшує запас ходу, такого як бензин.

Паливо зі збільшеним запасом ходу зазвичай вважається менш екологічним та економічно безпечним у використанні, ніж основне джерело палива, тому система керування транспортним засобом віддає перевагу використанню основного палива, якщо воно доступне. Однак через обмеження дальності дії з основним джерелом палива, паливо для збільшення дальності дозволяє транспортному засобу отримати багато витрат і екологічних переваг основного палива, зберігаючи при цьому повний діапазон руху джерела палива для збільшення дальності. Наприклад, у Chevy Volt живлення від акумуляторної батареї від електромережі може бути дешевшим і екологічнішим, ніж спалювання бензину (залежно від джерела вироблення електроенергії), але через компроміс між запасом ходу чистого електромобіля та його акумулятором. Розмір, додавання бензину, що збільшує запас ходу, багато хто вважає хорошим компромісом, що дозволяє надати Chevy Volt значно більший запас ходу. Однак скільки переваг від використання основного палива залежить від того, як рухаються автомобілі.

										Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТ 24.21146.000. ПЗ					

дозволяють REEV дуже ефективно перетворювати енергію палива в електроенергію та рух транспортного засобу [5].

Електромобіль REEV починає шлях з акумуляторної батареєю «SoC», із зарядом, близьким до 100 %. Абсолютно вся потужність електромобіля забезпечується електричним двигуном, який, у свою чергу, отримує енергію тільки від акумулятора. При цьому, природно, відсутні викиди шкідливих для довкілля вихлопних газів. Акумуляторна батарея частково заряджається абсолютно при кожній дії рекуперативного гальмування. В момент, коли акумулятор розряджений до певної SoC, позначеної на рисунку 1.8.

За певних трьох рівнів розвитку ситуації серйозності: зеленому, помаранчевому та червоному – електромобіль автоматично переходить у режим збільшеної дальності. У той час, коли електромобіль REEV здійснює свою роботу в даному режимі, ДВЗ підключається тільки по мірою певної необхідності для того, щоб підтримувати та заряджати акумулятор у межах потрібного діапазону SoC, який відзначений червоною та зеленою пунктирними лініями. Але, після завершення поїздки АКБ SoC повертається із живленням, на 100 % взятим із мережі. Різноманітні режими роботи REEV наведені на рисунку 1.8.

Система REEV йде набагато далі, ніж PHEV. Він практично повністю прибирає розрив між АКБ BEV та HEV, так як він поєднує в собі всі їхні переваги.

У момент, коли акумуляторна батарея розряджена до певного рівня, генератор приводиться в дію, за допомогою відносно невеликого ДВЗ. Генератор, у свою чергу видає вироблену електричну енергію для електродвигуна, який надає руху сам електромобіль. Безсумнівно, завдяки даному принципу максимальне значення пробігу без дозарядки електромобіля буде дещо збільшений, а наявний недолік BEV - обмежений діапазон – за допомогою цього методу можна подолати.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

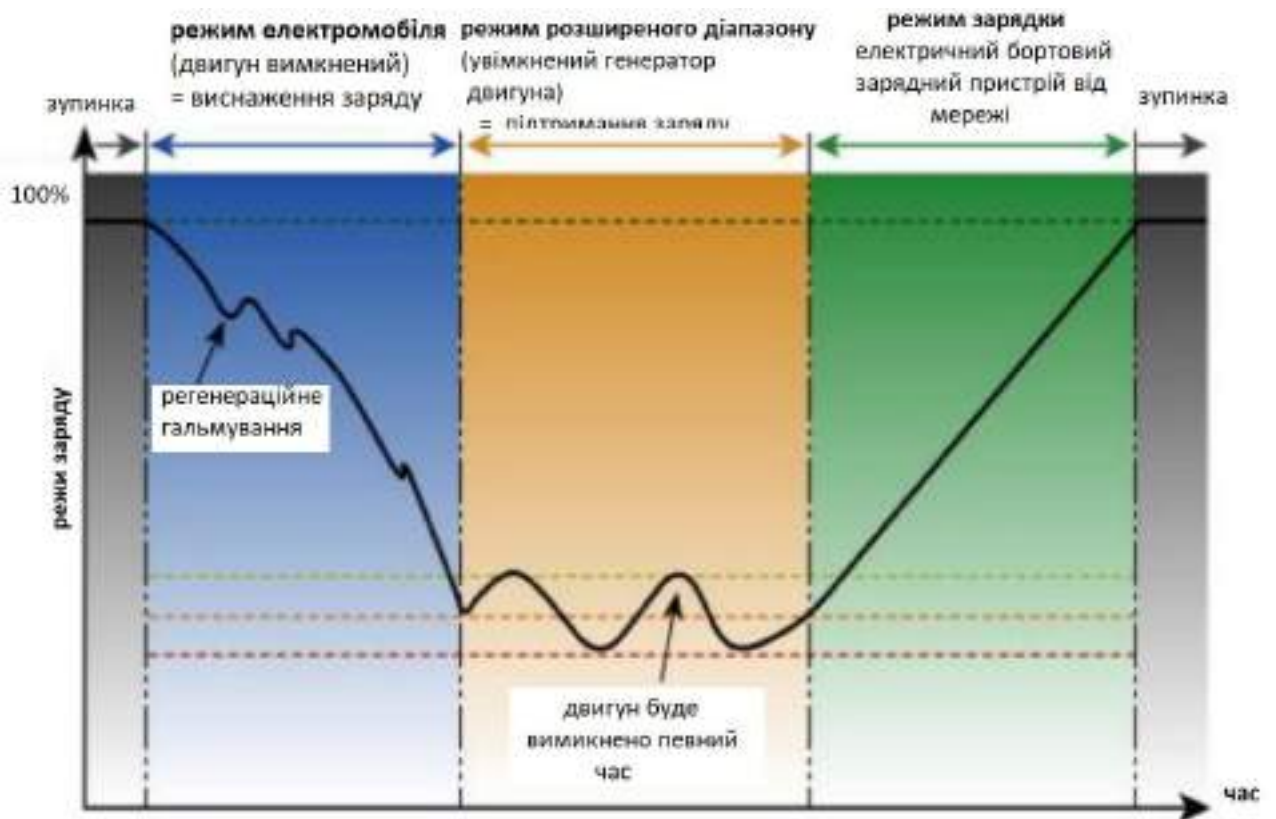


Рисунок 1.8 – Різноманітні режими роботи REEV [3]

Яскравим прикладом REEV є електромобіль Chevrolet Volt 2 «General Motors» оснащений батареєю на 16 кВтг плюс «розширювальний діапазон» бензиновий внутрішній двигун внутрішнього згоряння (ICE) як генераторна установка. Volt працює як повністю електричний автомобіль перші 40-80 км у режимі розряду. Коли ємність акумулятора падає нижче попередньо встановленого порога після повної зарядки, автомобіль переходить у режим підтримки заряду, та система управління Volt вибере найбільш оптимально ефективний режим руху для підвищення продуктивності та підвищення ефективності на високих швидкостях.

Chevrolet Volt 2 має абсолютно повністю електричну силову установку, тобто безпосередньо тільки сам електродвигун призводить до руху привідні колеса за будь-яких режимів експлуатації. Електроенергія, яка потрібна для здійснення роботи електродвигуна подається літій-іонними акумуляторними батареями із загальною енергією приблизно 16 кВтг. Літій іонна

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРАТ 24.21146.000. ПЗ				

- Потужність електромотора – 110 кВт (150 к.с.)
- Стартер – генератор – 45 кВт (61 л.с.)
- Загальна потужність силової установки – 190 – 200 к.с.;
- Максимальний крутний момент – 398 Нм;
- Витрата електроенергії на 100 км – 15 – 18 кВтг;
- Об'єм паливного бака – 33 л.;
- Запас ходу (загальний) – 500 – 550 км;

1.9 Схеми взаємодії роботи електродвигуна та ДВЗ.

У літературі розрізняють велику кількість різновидів гібридних схем. силових установок залежно від взаємодії двох видів енергії компонентів гібридної силової установки між собою [11-12]. Але загалом їх можна поділити на дві групи. Послідовну схему, в якій відсутній механічний зв'язок між електричною машиною та двигуном внутрішнього згоряння, а присутній електричний. І паралельну, в якій електрична машина та двигун внутрішнього згоряння мають механічний зв'язок між собою.

1.9.1 Послідовна схема взаємодії.

Послідовна схема є ідеологічним продовженням розвитку електромобіля за рахунок оснащення його генераторною установкою для збільшення запас ходу.

При послідовній схемі взаємодії джерел енергії для приводу автомобіля використовується лише електрична машина (рисунок 1.10). Двигун внутрішнього згоряння, у свою чергу, обертає генератор, який виробляє електричну енергію для живлення електричної машини та заряду накопичувачів енергії. Послідовна схема гібридної силової установки є смисловим продовженням електромеханічної трансмісії, а також класичного

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

електромобіля, відрізняючись від них наявністю накопичувача енергії, що заряджається генераторною установкою на основі двигуна внутрішнього згоряння. Перевагою послідовної схеми є найпростіша механічна трансмісія, в якій відсутня коробка перемикачів передач, та є лише головна передача, необхідна для узгодження частоти обертання валу електричної машини та провідних коліс. Це обумовлено зовнішньою швидкісною характеристикою електричної машини, максимально наближеною до тягової характеристики автомобіля. Крім цього, робота двигуна внутрішнього згоряння у складі генераторної установки з постійною частотою обертання та навантаженням, дозволяє йому працювати в зоні максимальної ефективності. Послідовна схема характеризується відносно простою системою керування.

Недоліком даної схеми є потрійне перетворення енергії в силовій установці, що зменшує її ККД загалом. Наявність трьох перетворювачів енергії збільшує вартість та вагу силових установок. Крім того, така схема потребує наявності накопичувача електричної енергії великої ємності [11].

Така конструкція використовується в моделі BMW і3 REX, Cadillac ELR та Chevrolet Volt 2015 модельного року, а також в автобусах з гібридними силовими установками, наприклад, Toyota Coaster Hybrid.

1.9.2 Паралельна схема взаємодії.

Паралельна схема, у свою чергу, є наступним ступенем розвитку автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння, де електрична машина служить помічником для ДВЗ (рисунки 1.11).

Паралельна схема поєднує різноманіття різновидів взаємодії компонентів гібридної силових установок, загальною рисою яких є можливість використання двох джерел енергії для приводу ведучих коліс як разом, так і окремо. До переваг паралельної схеми можна віднести можливість використання одного електродвигуна малої потужності та одного

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

рахунок сили електричної частини. ДВЗ підтримує роботу генератора авто, як із послідовної схемою взаємодії. Передача крутного моменту від ДВЗ на колеса відбувається при русі на великій швидкості.

При високих навантаженнях, що потребують підвищеної потужності, генератор автомобіля може не видати потрібну кількість енергії, і в такому разі електродвигун живиться додатково від акумулятора, як при паралельній схемі взаємодії.

У цій схемі передбачений додатковий генератор, він заряджає АКБ. Електродвигун необхідний тільки для приводу привідних коліс та для забезпечення рекуперативного гальмування [11-12].

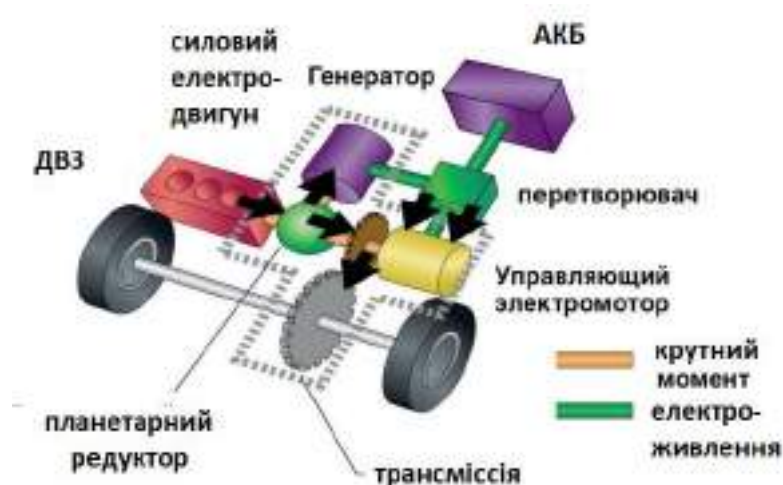


Рисунок 1.12 – Послідовно-паралельна схема гібридної силової установки.

Частина крутного моменту переходить від двигуна внутрішнього згорання, йде на привідні колеса, а деяка його частина – для роботи генератора, який у свою чергу живить електродвигун та заряджає АКБ.

За напрямком крутного моменту на колеса, генератор чи електродвигун та його співвідношенні відповідає планетарний механізм – розподільник потужності. Регулюванням подачі потужності з генератора та батареї займається електронний блок керування автомобіля.

Безперечним плюсом цієї схеми гібрида є його велика економічність палива у поєднанні з хорошими потужнісними характеристиками.

										ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							36

Серед негативного – складніша конструкція порівняно з попередніми схемами, і, як наслідок, велика ціна. Оскільки необхідний додатковий генератор, ємна АКБ та складна електронна схема управління.

1.10 Огляд світових пристроїв.

Кожна розглянута вище схема знайшла своє застосування у дослідному зразку або серійної моделі автомобіля із ГСУ. Розглянемо найпоширеніші та вдалі з них.

До яскравих представників послідовної схеми можна віднести автомобілі Lohner-Porsche, Chevrolet Volt. Наприклад Chevrolet Volt оснащений електродвигуном потужністю 120 кВт з обертовим моментом 320 Нм, літій-іонними акумуляторами потужністю 16,5 кВт., заряджання акумуляторів від мережі становить 3 години. Прискорення автомобіля до швидкості 100 км/год. відбувається за 8,0 с., максимальна швидкість - 190 км/год. Він оснащений генераторною установкою на основі 3 циліндрового двигуна внутрішнього згоряння потужністю 53 кВт об'ємом 1 літр. Паливний бак автомобіля – 45 літрів. Цього палива та повної зарядки акумуляторів достатньо для пробігу 1000 км.

З автомобілів, що використовують паралельну схему, можна виділити найбільші поширення, що одержали, і є найбільш масово виробленими Toyota Prius і Honda Insight. Toyota Prius - гібридний автомобіль, що найбільше продається в світі. Його останнє покоління оснащене бензиновим двигуном об'ємом 1,8 літра. потужністю 73 кВт, двома мотор-генераторами сумарною потужністю 60 кВт та робочою напругою 650 В, з'єднаних планетарною передачею (швидкісною муфтою). Місткість накопичувача енергії становить 1,3 кВт*г. Сумарна вихідна потужність силової установки 100 кВт розганяє автомобіль до 100 км/год за 10 секунд. Витрата палива становить 4,7 л на 100 км у комбінованому циклі [9].

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Honda Insight є прямим конкурентом Toyota Prius. Перше покоління автомобіля по сьогодні очолює рейтинг US EPA як найекономічніший автомобіль з двигуном внутрішнього згорання. Останнє покоління автомобіля оснащено двигуном внутрішнього згорання об'ємом 1,3 літри, потужністю 73 Квт. Його помічником на низьких обертах є електричний двигун потужністю 10 кВт, що кріпиться на хвостовику колінчастого валу і живиться від накопичувача енергії ємністю 0,58 кВт*год., оснащений варіативною трансмісією та розганяє автомобіль до 100 км/год за 10,3 с. Витрата палива дещо збільшилася і склала 5,6 л на 100 км в комбінованому циклі [12].

1.11 Переваги та недоліки гібридних автомобілів.

Головна перевага гібридних автомобілів – це знижене споживання палива. Оскільки під час прискорення машина зовсім не споживає паливо, то у міському циклі економія палива становить 25 – 35 %. На одному тільки електропривод гібрид економ-класу може проїхати до 80 км, та розігнатися до 50 – 60 км/год. Такі показники дозволяють зменшити майже на третину кількість заїздів на заправку. У режимі заміської траси цей показник сягає половини заїздів. А це, окрім значної економії палива, призводить до скорочення часу в дорозі. Наприклад, на одному 45-літровому баку гібридної Toyota Prius можна проїхати до 1000 км.

По-друге, за рахунок того, що в авто, по суті, два двигуни для досягнення потужності негібридного аналога достатньо встановити менш потужний бензиновий двигун. Як правило, економія досягає 30 – 50 % від потужностей традиційної модифікації. Наприклад, потужність дволітрового автомобіля досягається в гібриді за рахунок роботи 1,5-літрового мотора на пару з електродвигуном, коефіцієнт корисної дії якого становить 90 – 95 %. Сума цих факторів призводить до того, що гібридний автомобіль середнього

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

класу споживає трохи більше 5 – 6 л/100 км у міському режимі, тоді як його негібридний побратим виходить у середньому на 11 – 12 л/100 км. Звичайно, зниження споживання тягне за собою зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу. Гібриди викидають в атмосферу на 90 % менше сажі та вуглеводнів, а оксидів азоту – на 50 %. Але подібний ефект досягається ільки при «середньостатистичній» експлуатації автомобіля, тобто на швидкості не вище 70 – 80 км/год у міському режимі та не більше 120 – 130 км/год на трасі.

Ще одна перевага, пов'язана з екологією, полягає в тому, що під час простою в пробці автомобіль взагалі не генерує вихлопів за рахунок роботи від акумуляторної батареї. Електродвигун забезпечує миттєвий запуск та зупинку, не має потреби в холостому ході, що дає ще одне важливу перевагу – відсутність механізму зчеплення. Теоретично такий механізм може бути розміщений безпосередньо у колесі. І такі розробки вже існують.

Основним недоліком гібридів сьогодні, при всіх вигодах та майбутніх економіях, є їхня ціна [13]. У порівнянні з аналогами «екологічні» машини коштують на 15 – 20 % дорожче. Окупити цю різницю за рахунок економії палива можна лише за чотири – сім років залежно від двигуна та інтенсивності експлуатації. Тому найбільш розвиненими сегментами гібридних автомобілів є бізнес-клас та люкс. Чим економічніший гібрид, тим він дорожчий. Адже щоб стримувати «ненажерливість» ДВЗ якомога ефективніше, потрібні більше великі батареї. А саме їхня ціна – головна складова вартості даних автомобілів.

Другий пункт – утилізація акумуляторів. Батареї рано чи пізно зношують свій ресурс перезарядів. Звісно, сьогоднішні кілька десятків тисячі можливих «паспортних» перезарядок (близько 100 000 км пробігу) не йдуть ні в яке порівняння з кількома сотнями, якими мали перші серійні батареї якихось 15 років тому. Однак навіть такі довговічні акумулятори все одно колись потрібно буде утилізувати [14].

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АВТОМОБІЛЯ З ГСУ

2.1 Методики оцінки динамічних характеристик автомобіля з ГСУ.

Експериментальних даних характеристик прототипів та серійних зразків, а також аналітичного огляду існуючих схем ГСУ недостатньо для проведення оцінки та порівняння автомобілів, з метою розробки нового автомобіля з ГСУ, та вибору одного з окремих випадків схем ГСУ та характеристик її компонентів.

Для цих цілей у теорії автомобіля у традиційних автомобілів з двигуном внутрішнього згорання прийнято розраховувати, оцінювати і порівнювати тягово-швидкісні властивості. Існують різні методики їх оцінки, а також низка нормативних документів.

Необхідні показники для оцінки швидкісних властивостей автомобіля – це максимальна швидкість, час прискорення, максимально долаючий ухил.

Для їх теоретичного розрахунку застосовується класичний тягово-динамічний розрахунок автомобіля, що включає в себе: визначення повної маси автомобіля, підбір шин, побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна внутрішнього згорання, визначення передавальних чисел трансмісії, побудова тягових та динамічних характеристик, визначення часу та шляху прискорення [15 - 17].

Але класичний тягово-динамічний розрахунок автомобіля не може бути застосований до автомобілів із ГСУ. Він також не відповідає реальним режимам руху, розрахунок ведеться для двигуна внутрішнього згорання, що працює на зовнішній швидкісній характеристиці, перемикання передач якого відбувається при максимальній частоті обертання колінчастого валу двигуна внутрішнього згорання.

Відома вдосконалена методика тягово-динамічного розрахунку автомобіля, що враховує процес перемикання передач та керування двигуном

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

[16]. Вона позбавлена низки недоліків класичного тягово-динамічного розрахунку, але не може бути застосована до автомобілів із ГСУ.

Відома методика розрахунку основних показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля з комбінованою енергосиловою установкою. У даній методиці наведено алгоритм та приклади розрахунку автомобіля з ГСУ. Цією методикою притаманні недоліки класичного тягово-динамічного розрахунку, розрахунок ведеться на режимах руху, що не відповідають реальній експлуатації автомобіля з ГСУ, без урахування керуючого впливу. Також до недоліків можна віднести, що розрахунок швидкісної характеристики ГСУ автомобіля, у методиці наведено алгоритм і приклад розрахунку швидкісної характеристики ГСУ виконаної за паралельною схемою компоновання, з узгоджуючим циліндричним редуктором з передатним ставленням 1,4 між валами двигунів [16,17].

Можна зробити висновок, що методика тягово-динамічного розрахунку вимагає доопрацювання у застосуванні для автомобіля з ГСУ.

2.2 Паливна економічність.

В сучасних реаліях не можна говорити про динамічні характеристики, без огляду на витрачену для їх отримання енергію. Для автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння даний показник характеризується паливною економічністю.

Внаслідок різноманіття режимів роботи автомобіля у нормативних документах виділяються приватні показники паливної економічності: витрата палива в магістральному циклі, витрата палива в міському циклі, витрата топливу на режимах руху.

У нормативних документах передбачається та описується методика визначення паливо економічних показників експериментальним шляхом через вимір викидів забруднюючих речовин.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Як і у випадку з динамічними характеристиками визначення даних то паливної економічності експериментальним шляхом не дозволить нам отримати їх на етапі проектування автомобіля.

Методика розрахунку на встановлених режимах руху витрат палива викладено у посібниках з теорії автомобіля [10, 11, 12]. Вона зводиться до визначення годинної витрати палива та наступного виразу витрати в літрах на 100 кілометрів пробігу.

При визначенні витрати палива в магістральному та міському циклі нормативними документами регламентуються використовувані їздові цикли та обумовлено точність їх дотримання під час випробувань.

Теоретичний розрахунок витрати палива в їздовому циклі передбачає, що при розгонах двигун працює за зовнішньою швидкісною характеристикою, а витрата палива обчислюється через питому витрату двигуна, що працює на зовнішній швидкісній характеристиці. Такий розрахунок витрати пального не відповідає даним нормативних документів, не збігається з часом прискорення, а також реальних умов експлуатації автомобіля. Отже, і значення витрати пального буде дещо вищим, ніж в інших умовах експлуатації [18].

Також для розрахунку паливної економічності автомобіля з ГСУ необхідно враховувати витрати палива на зарядку накопичувачів енергії, ККД перетворення енергії в електричній машині, як у прямому, так і у зворотному напрямку та витрати енергії електромашини.

2.3 Їздові цикли.

Розглянемо існуючі їздові цикли, що використовуються для експериментального визначення витрати палива в міському, магістральному та змішаному. циклі руху.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Їздовий цикл – послідовність значень, що є тимчасовою залежністю зміни швидкості руху транспортного засобу. Вперше він був розроблений у 70-х роках ХХ століття в США, для оцінки та порівняння результатів токсичності та економічності транспортних засобів з метою їх покращення у розпал нафтових криз.

Зараз існує велика кількість їздових циклів, які працюють у різних державах і різними організаціями. Їздові цикли прийнято ділити за місцем розробки: європейські, американські та японські. Також існує класифікація з їхньої характеристики:

- модельні - включають тривалу їзду з постійною швидкістю,
- неусталені - включають безліч змін швидкості [12].

Розглянемо найбільш поширені та застосовувані їздові цикли.

New European Driving Cycle (NEDC) розроблено у 1997 році на основі комбінації їздових циклів, що застосовувалися раніше в Європі. Цей їздовий цикл є модельним і включає чотири міських циклу, що представляють три етапи прискорення з наступним рухомі гальмуванням циклічно зростаючих, і магістральний цикл, що складається зі ступінчастого прискорення, руху на заданій швидкості та гальмування.

FTP 75 (Federal Test Procedure) американський їздовий цикл розроблено "Агентством з охорони навколишнього середовища" у 1978 році для вимірювання викидів у вихлопних газах та витрати палива. Являє собою не встановлений цикл, що складається з численних прискорень та гальмування. Можна відмітити однотипний початковий та кінцевий етап для холодного та прогрітого двигуна відповідно. Також можна спостерігати рух з обмеженням швидкості.

JC08 їздовий цикл, що використовується в Японії, був розроблений 2010 року, аналогічний американському FTP 75. Цей їздовий цикл також має випробування холодного та прогрітого двигуна. Але в ньому практично

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

відсутній рух з постійною швидкістю, що, що має місце в реальних режимах експлуатації автомобіля.

2.4 Методика тягово-динамічного розрахунку.

Методика традиційного тягово-динамічного розрахунку включає визначення повної маси автомобіля, підбір шин, вибір двигуна внутрішнього згоряння і побудова його зовнішньої швидкісної характеристики, визначення передавальних чисел, розрахунок тягово-динамічних показників, визначення прискорення, часу шляху прискорення.

Застосування до автомобілів з ГСУ методики тягово-динамічного розрахунку вимагає доопрацювання і має враховувати взаємозв'язок двигуна внутрішнього згоряння та електричної машини, їх взаємне розташування та витікаючі з цього особливості трансмісії.

Залежно від принципової схеми гібридної силової установки розрізняють послідовний та паралельний зв'язок ДВЗ та ЕМ (електричної машини), розглянуті в першому розділі. Методика тягово-динамічного розрахунку для кожної із схем має свої особливості. Розрахунок не розглянутих пунктів проводиться аналогічно методиці тягово-динамічного розрахунку автомобіля з ДВЗ [10-12].

2.4.1 Методика розрахунку ГСУ із послідовною схемою.

Методика тягово-динамічного розрахунку автомобіля з послідовною схемою ГСУ зводиться до методики тягово-динамічного розрахунку електромобіля. Вона включає такі розрахунки як визначення зовнішньої швидкісної характеристики ЕМ, передавального числа головної передачі, потужності та тягово-динамічного балансу автомобіля, прискорення, час шляху та прискорення.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Алгоритм розрахунку автомобіля з ГСУ послідовної схеми має вигляд:

- 1) Визначення повної маси автомобіля;
- 2) Підбір колеса та шин;
- 3) Вибір ЕМ та побудова її зовнішньої швидкісної характеристики;
- 4) Визначення передавальних чисел;
- 5) Розрахунок тягово-динамічних показників;
- 6) Розрахунок прискорення;
- 7) Визначення часу шляху та прискорення.

Від класичного алгоритму тягово-динамічного розрахунку алгоритм розрахунку з ГСУ послідовної схеми відрізняється пунктами 3 та 4.

Вибір електричної машини проводиться аналогічно до вибору двигуна внутрішнього згорання. Для цього потрібно знайти необхідну потужність електричної машини для досягнення максимальної швидкості, скориставшись формулою 2.1:

$$N_{V_{max}} = \frac{\psi_{V_{max}} G_a V_{max} + kF V_{max}^3}{1000 \eta_{тр. V_{max}}}, \quad (2.1)$$

де $\psi_{V_{max}}$ - коефіцієнт опору дороги; $\eta_{тр. V_{max}}$ ККД трансмісії; kF – аеродинамічний коефіцієнт.

Залежно від типу ТЗ та умов експлуатації встановлюють коефіцієнт запасу потужності електродвигуна, який визначає його максимальну потужність.

Вибравши відповідний двигун, необхідно побудувати його зовнішню швидкісну характеристику. Найчастіше зовнішня швидкісна характеристика даної машини відома.

Якщо зовнішню швидкісну характеристику не наведено, а відомі лише приватні значення потужності та моменту, то необхідно розрахувати та

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

відношення максимальної частоти обертання до номінальної, характеризує тип ЕМ.

$$\chi = \frac{\omega_{\max}}{v_{\chi}} \quad (2.6)$$

Розрахунок тягової ЕМ йде з припущеннями, що накопичувач енергії здатний забезпечити ЕМ необхідною енергією.

Розрахунок передавальних чисел для послідовної схеми зводиться до розрахунку передавального числа головної передачі або розрахунку передавальних чисел бортових редукторів, залежно від вибраних електричних машин та їх розташування:

$$i_{\text{тп}} = 6,27 \frac{r_k V_{\text{едв}}}{V_{\text{тах}}}, \quad (2.7)$$

де r_k – радіус колеса, м; $V_{\text{едв}}$ – максимальна швидкість обертання електродвигуна, м/с; $V_{\text{тах}}$ – максимальна швидкість руху транспортного засобу, м/с.

2.4.2 Методика розрахунку ГСУ із паралельною схемою.

Методика тягово-динамічного розрахунку автомобіля із паралельною схемою ГСУ має ряд ключових відмінностей, і включає наступні пункти визначення зовнішньої швидкісної характеристики ДВЗ, визначення зовнішньої швидкісної характеристики ЕМ, визначення характеристики ГСУ, визначення передавальних чисел трансмісії, визначення потужності та тягово-динамічного балансу автомобіля, визначення прискорення, час та шляхи прискорення.

Алгоритм розрахунку автомобіля з ГСУ паралельної схеми набуде вигляду:

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- 1) Визначення повної маси автомобіля;
- 2) Підбір колеса та шин;
- 3) Вибір максимальної потужності силової установки;
- 4) Вибір ДВЗ та побудова його зовнішньої швидкісної характеристики.
- 5) Вибір ЕМ та побудова його швидкісної характеристики.
- 6) Розрахунок узгоджувального редуктора.
- 7) Визначення передавальних чисел.
- 8) Розрахунок тягово-динамічних показників.
- 9) Розрахунок прискорення.
- 10) Визначення часу шляху та часу прискорення

Залежно від взаємного розташування компонентів ГСУ паралельної схеми порядок розрахунку може відрізнятися.

Максимальна потужність силової установки визначається з умови досягнення максимальної швидкості за рівнянням (2.1).

Залежно від типу ТЗ та умов експлуатації встановлюють коефіцієнт запасу потужності силової установки та визначають його максимальну потужність.

При виборі ДВЗ та ЕМ з умови досягнення максимальної швидкості необхідно визначити співвідношення їх потужностей, що є основним параметром для автомобіля із ГСУ паралельної схеми.

Розрахунок узгоджувального редуктора залежить від використовуваного пристрою з'єднання тягових двигунів. Розрізняють два пристрої з'єднання планетарну передачу та циліндричний редуктор (та їх комбінації).

Циліндричний редуктор характеризується рівностями:

$$MV = M_{\text{ДВЗ}} v_{\text{ДВЗ}} + M_{\text{ЕМ}} v_{\text{ЕМ}}, \quad (2.8)$$

$$M = M_{\text{ДВЗ}} i_{\text{ДВЗ}} + M_{\text{ЕМ}} i_{\text{ЕМ}}, \quad (2.9)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Де: $M_{ДВЗ}$, $M_{ЕМ}$ - крутний момент ДВЗ і ЕМ, Нм; $\nu_{ДВЗ}$, $\nu_{ЕМ}$ - частота обертання ДВЗ та ЕМ, 1/с; $i_{ДВЗ}$, $i_{ЕМ}$ - передатне відношення ДВЗ та ЕМ.

З розглянутих рівностей можна висловити відношення швидкостей обертання валів компонентів ГСУ:

$$V = \frac{\nu_{ДВЗ}}{i_{ДВЗ}} = \frac{\nu_{ЕМ}}{i_{ЕМ}} \quad (2.10)$$

А також визначити необхідні передавальні числа для узгодження частоти обертання та швидкості руху автомобіля:

$$\frac{V}{r_k} i_{тр} = V = \frac{\nu_{ДВЗ}}{i_{ДВЗ}} = \frac{\nu_{ЕМ}}{i_{ЕМ}}, \quad (2.11)$$

де $i_{тр}$ – передавальне число трансмісії.

У разі використання планетарної передачі рівність набуває такого вигляду:

$$\nu_{ДВЗ} = (1 - i_{впч})V = i_{впч}\nu_{ЕМ}, \quad (2.12)$$

$$M_{ДВЗ} + M_{ЕМ} + M = 0, \quad (2.13)$$

де $i_{впч}$ – внутрішнє передавальне число планетарної передачі.

Визначення передавальних чисел зводиться до визначення внутрішнього передавального числа планетарної передачі:

$$i_{впч} = \frac{\nu_{ДВЗ} - \frac{\nu_{ЕМ}}{r_k}}{\nu_{ЕМ} - \frac{\nu_{ДВЗ}}{r_k}} \quad (2.14)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

2.5 Методика паливно-економічного розрахунку для автомобілів із ГСУ.

Паливно-економічний розрахунок автомобіля з ГСУ зводиться до визначення показників паливної економічності, регламентованих нормативними

документами, міжнародним Правилком ЕЕК ООН № 015. До цих показників відносяться контрольна витрата палива, витрата палива в магістральному та міському циклі, паливна характеристика усталеного руху.

Найбільшу актуальність становлять оціночні показники паливної економічності в міському та магістральному циклі, що найбільше характеризують реальні умови експлуатації автомобілів Міський та магістральний цикл представлені у нормативних документах відповідними їздовими циклами. У нашій країні нині застосовується на підставу ДСТУ 20306-90 NEDC (New European Driving Cycle), описаний у Правилах ЕЕК ООН № 015.

Їздовий цикл NEDC, представляє залежність швидкості руху автомобіля від часу. Він складається з чотирьох міських та одного магістрального циклу. Його можна розділити на кілька типів руху: холостий хід, прискорення, рух з постійною швидкістю та уповільнення [10-12].

Також у його опис наведено значення величин прискорення при прискоренні та уповільненні, що дозволяє побудувати графік залежності прискорення автомобіля від часу весь цикл.

Знаючи залежність прискорень від часу та значення швидкості у їздовому циклі можна з рівняння руху автомобіля знайти силу на провідних колесах вибраного автомобіля.

$$P_u = P_k - P_d - P_w, \quad (2.15)$$

$$P_k = \frac{M i_{TP} \Omega_{TP}}{r_k}, \quad (2.16)$$

$$P_d = \Psi mg, \quad (2.17)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$P_u = kFV^2, \quad (2.18)$$

$$P_u = m\delta a, \quad (2.19)$$

$$\frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} = \Psi mg + kFV^2 + m\delta a, \quad (2.20)$$

де R_k - сила на колесі, Н; R_d - сила опору дороги, Н; R_v - сила опору повітря, Н; P_i - наведена сила інерції автомобіля, Н. M - крутний момент силової установки, Нм; $i_{тр}$ - передатне відношення трансмісії; $\eta_{тр}$ - ККД трансмісії; r_k – радіус колесам; m – маса автомобіля, кг; kF - фактор обтічності, $\text{Нс}^2/\text{М}^2$; δ - коефіцієнт обліку обертових мас; V – швидкість автомобіля, м/с; a – прискорення, $\text{м}/\text{с}^2$.

$$M = \frac{(\Psi mg + kFV^2 + m\delta a) r_k}{i_{тр} \eta_{тр}}. \quad (2.21)$$

Прийнявши припущення, що буксування відсутнє, частота обертання та потужність відповідатимуть наступним рівностям:

$$v = \frac{V i_{тр}}{6,28 r_k}. \quad (2.22)$$

$$N = 6,28 M \omega / \quad (2.23)$$

Що стосується традиційних автомобілів з ДВЗ це дозволило визначити режим роботи ДВЗ у кожен час. І за паливно-економічною характеристикою розрахувати миттєву витрату палива в кожний момент часу їздового циклу.

Отже, годинна витрата палива в кожний проміжок часу визначається за формулою:

$$G = g_e N, \quad (2.24)$$

де g_e - Питома витрата палива двигуна, г/кВт год.

Дорожня витрата палива за цикл у літрах на 100 км дорівнює:

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_T \int S dt} \cdot 10^5, \quad (2.25)$$

де ρ_T - щільність палива, кг/м³; S - шлях, пройдений за цикл, км.

Для автомобіля з послідовною ГСУ аналогічно автомобілю з ДВЗ, розрахунок паливно-економічних показників за їздовий цикл визначається за режимами роботи тягової ЕМ у кожний момент часу. І за характеристикою ефективності ЕМ розраховується потужність, що споживається електродвигуном.

$$N_{\text{ЕМ}} = \frac{Mv}{\eta_{\text{ЕМ}}}, \quad (2.26)$$

де $\eta_{\text{ЕМ}}$ - ККД ЕМ.

А також витрата енергії за весь їздовий цикл:

$$E_{\text{ЕМ}} = \int N dt. \quad (2.27)$$

Таку ж кількість енергії має виробляти генераторна установка на основі ДВЗ.

$$E_{\text{ЕМ}} = E_{\text{ГМ}}. \quad (2.28)$$

Взявши припущення, що режим роботи генератора проходить у зоні максимальної ефективності, тоді енергія, вироблена ДВЗ, дорівнює:

$$E_{\text{ДВЗ}} = E_{\text{Г}} \eta_{\text{Гmax}}, \quad (2.29)$$

де $\eta_{\text{Гmax}}$ - максимальний ККД генератора.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

А ДВЗ також працює у зоні максимальної ефективності, при мінімальній питомій витраті, з годинною витратою:

$$G_{\min} = g_{\min} N, \quad (2.30)$$

де g_{\min} – мінімальна питома витрата палива, г/кВт год.

Тоді шляхова витрата палива автомобіля з послідовною ГСУ дорівнює:

$$Q = \frac{G_{\min} E_{\text{ДВЗ}}}{3,6 \rho_r N g_{\min} \int S dt} 10^5, \quad (2.31)$$

де $N_{g\min}$ - потужність ДВЗ при мінімальній питомій витраті палива, Нт.

Для автомобіля з паралельною ГСУ необхідно враховувати спільну роботу ДВЗ та ЕМ. А саме алгоритм їхньої спільної роботи, характеристики узгоджувального пристрою та відношення потужностей двигунів.

Знаючи значення крутного моменту силової установки необхідного для руху в їздовому циклі, можна знайти недостатнє значення моменту електричної машини в тяговому або генераторному режимі.

$$M_c = M_{\text{ДВЗ}} + M_{\text{ЕМ}}. \quad (2.33)$$

У випадку, якщо крутний момент електричної машини в генераторному режимі перевищує своє максимально значення, значення крутного моменту ДВЗ обчислюється за такою формулою:

$$M_{\text{ДВЗ}} = M_c - M_{\text{ЕМ max}}. \quad (2.34)$$

Також якщо крутний момент силової установки менше максимального крутного моменту ЕМ:

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$M_c \leq M_{EM \max} . \quad (2.35)$$

Тоді транспортний засіб наводиться в рух тільки ЕМ:

$$M_{ДВЗ} = 0. \quad (2.36)$$

Також необхідно забезпечити підтримку заряду накопичувача енергії за весь їздовий цикл, витрата енергії не повинна бути більшою за вироблену енергію.

$$E_{EM} \leq 0. \quad (2.37)$$

$$E_{EM} = \int N dt \quad (2.38)$$

Потужність електричної машини в тяговому та генераторному режимі:

$$N_{ТЕМ} = \frac{Mv}{\eta_{EM}}, \quad (2.39)$$

$$N_{ГЕМ} = \frac{Mv}{\eta_{EM}}. \quad (2.40)$$

А витрата палива ДВЗ за формулами (2.24) та (2.25).

Розроблена методика тягово-динамічного розрахунку автомобіля з ГСУ застосовна для основних схем ГСУ, враховує основні конструктивні особливості ГСУ і дозволяє визначити необхідні динамічні характеристики.

Розроблена методика паливно-економічного розрахунку дозволяє визначити показник витрати палива за їздовий цикл, який використовується на території України. Ця методика застосовна до основних схем ГСУ.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ

3.1 Тягово-динамічний розрахунок автомобіля.

За запропонованими методиками тягово-динамічного та паливно-економічного розрахунків пропонується провести розрахунки автомобілів з різними силовими установками, потужність яких розрахована на досягнення ідентичної максимальної швидкості. Автомобіля з ДВЗ, електромобіля або автомобіля з ГСУ послідовної схеми, автомобіля з ГСУ паралельної схеми із співвідношенням потужностей ДВЗ та ЕМ від 1 до 15. Для оцінки використання даного співвідношення потужностей, що використовується у переважній більшості ГСУ.

3.1.1 Визначення повної маси автомобіля.

Повну масу автомобіля розраховують за такою формулою:

$$m_a = m_0 + (m_B + m_6), \quad (3.1)$$

де m_0 – маса спорядженого автомобіля із заправкою та спорядженням, але без пасажирів та водія. Для нашого проекту приймаємо $m_0 = 1080$ кг; $m_B = 70...80$ кг – маса водія чи пасажирів, $m_B = 75$ кг; n – кількість місць для сидіння пасажирів, $n = 5$; m_6 - маса багажу, $m_6 = 10$ кг на одну особу в легкових автомобілях. Таким чином, $m_a = 1080 + (75 + 10)5 = 1505$ кг.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

3.1.2 Підбір колеса та шин.

Для визначення навантаження на передню вісь скористаємося розважуванням автомобіля-прототипу при повному навантаженні, тобто 59/41.

$$m_1 = 0,59m_a, \quad (3.2)$$

де m_1 - маса, що припадає на передню вісь; m_a - повна маса автомобіля.

Для розрахунків у роботі $m_1 = 1530 * 0,59 = 902,7$ кг.

Вибір шин здійснюється за максимальною швидкістю та навантаженням на колесо. Максимальна швидкість автомобіля дорівнює 167 км/год, тоді індекс категорії швидкості T, індекс навантаження на шину – 82. Діаметр ободка колеса виберемо як у прототипу – 14 дюймів.

Нехай шина матиме такий розмір: 175/65R14 82T. Де 175 - ширина профілю шин, мм; 65 - відношення висоти профілю до ширини у відсотках; R – радіальна шина; 14 – внутрішній діаметр шини, відповідний діаметру обода колеса дюймах; 82 – індекс вантажопідйомності; T – індекс швидкості.

Розраховуємо радіус кочення колеса з обраною шиною:

$$r_k = (0,9...0,95)r_c, \quad (3.3)$$

де r_c - статичний радіус, що визначається за формулою:

$$r_c = 0,5d + H\lambda_{III}, \quad (3.4)$$

де d - Діаметр обода колеса, м; λ_{III} – коефіцієнт, що враховує вертикальну деформацію шини (для стандартних шин $\lambda_{III} = 0,88.. .0,9$); H – висота профілю шини, мм.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Розраховуємо дані для нашого проекту:

$$d = 14 * 2,54 = 0,355 \text{ м}; \lambda_{III} = 0,9; H = 0,102 \text{ м.}$$

Тоді:

$$r_c = 0,5 * 0,355 + 0,9 * 0,102 = 0,28 \text{ м,}$$

$$r_k = 0,95 * 0,28 = 0,266 \text{ м.}$$

3.1.3 Вибір максимальної потужності силової установки.

Максимальна потужність силової установки визначається з умови досягнення максимальної швидкості:

$$N_{V_{max}} = \frac{\psi_{V_{max}} G_a V_{max} + k_F V_{max}^3}{1000 \eta_{TP V_{max}}}, \quad (3.5)$$

де $\psi_{V_{max}}$ - коефіцієнт опору дороги; $\eta_{TP V_{max}}$ - ККД трансмісії при максимальній швидкості.

$$\psi_{V_{max}} = f = f_0 (1 + k_1 (0,36V)_{max}^2), \quad (3.6)$$

де f_0 - коефіцієнт опору коченню, що відноситься до малих швидкостей; для асфальтобетону 0,012 ... 0,015; $k_1 = (4...5)10^{-5}$; $G_a = m_g g = 1505 * 9,81 = 14749,3$

Н – вага автомобіля; $V_{max} = 47,25 \text{ м/с}$; $k_F = 0,353 \text{ Нс}^2 / \text{м}^2$; $\eta_{TP V_{max}} = 0,9$.

Тоді коефіцієнт опору дороги за максимальної швидкості

$$\psi_{V_{max}} = 1018f = 0,013 (1 + 4,5 * 10^{-5} * 1752) = 0,03.$$

А потужність двигуна при вибраній максимальній швидкості дорівнює:

$$N_{V_{max}} = \frac{0,3 \cdot 14749,3 \cdot 47,25 + 0,353 \cdot 47,25^3}{1000 \cdot 0,9} = 65,3 \text{ кВт}$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

3.1.4 Вибір ДВЗ та побудова його зовнішньої швидкісної характеристики.

У разі розрахунку автомобіля з ДВЗ та ГСУ паралельної схеми проводиться вибір ДВЗ з числа вироблених з максимальною потужністю 65 кВт (88 к.с) та 56 кВт (76 к.с) відповідно. Під дані характеристики підходять двигуни автомобілів родини «RENAULT», а саме бензиновий чотирициліндровий рядний двигун «K7M», що має об'єм 1,6 літра, потужність – 88 к.с, та бензиновий чотирициліндровий рядний двигун «D7F», що має об'єм 1,2 літра, потужність – 76 к.с. [19].

Двигун «K7M» встановлюється на таких моделях як Logan, Stepway, Sandero, а двигун «D7F» - на моделях Renault 19, Clio та Laguna.

Для подальших розрахунків необхідно побудувати їх зовнішні швидкісні характеристики, скориставшись емпіричною залежністю:

$$N_m = N_{max} \left[a \left(\frac{n_m}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right], \quad (3.7)$$

де N_m – поточне значення потужності, кВт;

Коефіцієнти a , b і c визначаються за такими співвідношеннями для двигунів:

$$a = 2 - \frac{25}{M_3}, \quad (3.8)$$

$$b = \frac{50}{M_3} - 1, \quad (3.9)$$

$$c = \frac{25}{M_3}, \quad (3.10)$$

Для ДВЗ «K7M»: $v_{min} = 800$ 1/с; $v_{max} = 5600$ 1/с; Для ДВЗ «D7F»: $v_{min} = 800$ 1/с; $v_{max} = 5400$ 1/с;

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Задамо в інтервалі від v_{\min} до v_{\max} ще ряд значень v_m , знайдемо відповідні значення N_m і побудуємо криву залежності $N_m = f(v_m)$, а потім $M_T = f(v_m)$, маючи на увазі, що

$$M_m = \frac{1000 N_m}{v_m} N, \quad (3.11)$$

де N_m - Потужність двигуна, кВт; n_m – кількість обертів валу двигуна, об/хв;

Розрахунки зведені в таблицю 3.1, 3.2 та відображені у графіках (рисунок 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 – Дані зовнішньої швидкісної характеристики ДВЗ «К7М»

$v, 1/c$	$N, кВт$	$M, Нм$
13,33	6,14	73,34
20	10,61	84,48
26,67	15,74	93,93
33,33	21,29	101,71
40	27,09	107,79
46,67	32,89	112,19
53,33	38,50	114,91
60	43,70	115,94
66,67	48,29	115,29
73,33	52,04	112,95
80	54,75	108,93
86,67	56,21	103,23
90	56,40	95,75

Таблиця 3.2 – Дані зовнішньої швидкісної характеристики ДВЗ «D7F»

$v, 1/c$	N, кВт	M, Нм
13,33	7,31	87,23
20	12,38	98,49
26,67	18,11	108,08
33,33	24,29	115,99
40	30,72	122,23
46,67	37,17	126,79
53,33	43,45	129,68
60	49,34	130,90
66,67	54,64	130,44
73,33	59,12	128,31
80	62,58	124,51
86,67	64,81	119,02
93,33	65,60	111,87

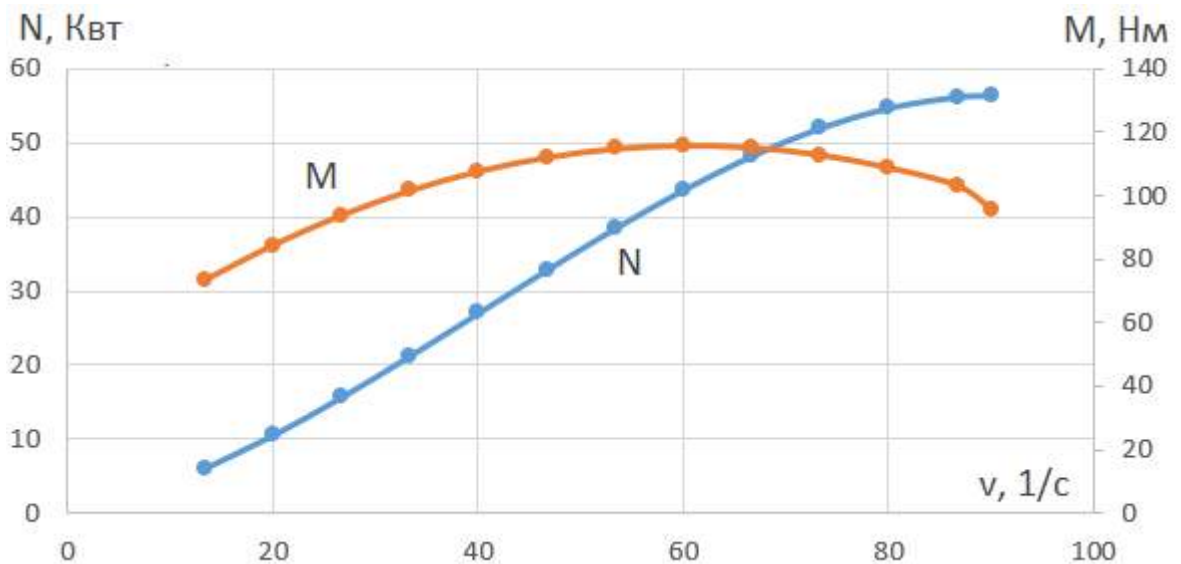


Рисунок 3.1 – Зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ «К7М»

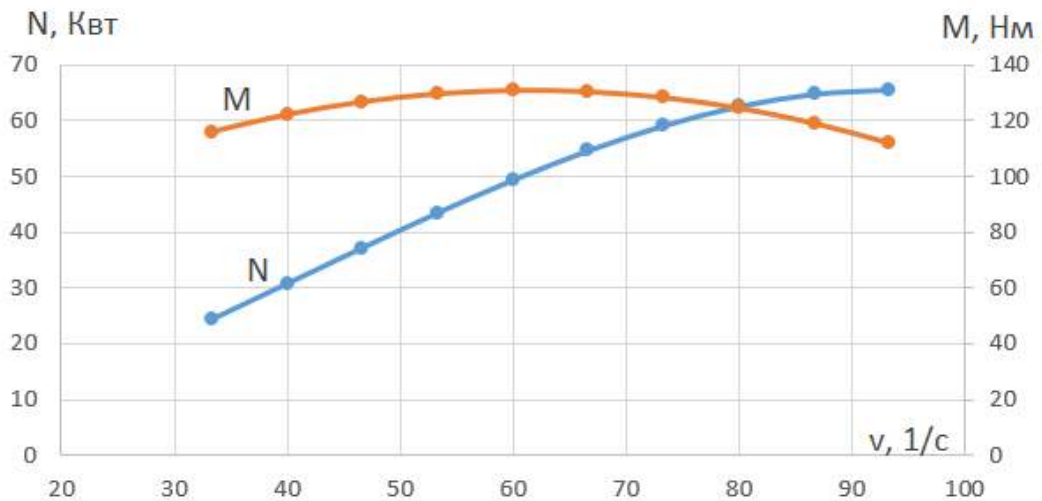


Рисунок 3.2 – Зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ «D7F»

3.1.5 Вибір ЕМ та побудова його швидкісної характеристики.

ЕМ для електромобіля (послідовної ГСУ) визначається за умови досягнення максимальної потужності. А у разі ГСУ паралельної схеми із вибраного співвідношення потужностей ДВЗ та ЕМ. ЕМ потужністю 65 і 9 кВт відповідно.

Зовнішня швидкісна характеристика описується системою рівнянь:

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq v \leq v_x \quad (3.12)$$

$$M_{кр} = \frac{M_{max} v_{max}}{v} \text{ при } v_x \leq v \leq v_{max} \quad (3.13)$$

де M_{max} - максимальний крутний момент ЕМ, Нм; v_{max} – максимальна частота обертання валу ЕМ, 1/с; x – відношення максимальної частоти обертання до номінальної, що характеризує тип ЕМ.

Значення x залежить від типу електричної машини, для даної електричної машини $x = 3$. Розрахунки зведені в таблицю 3.3 і таблицю 3.4, а також побудовано графіки крутного моменту та потужності від кутової швидкості (рисунок 3.3, 3.4).

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 3.3 – Дані зовнішньої швидкісної характеристики ТЕМ.

$v, 1/c$	$N, \text{кВт}$	$M, \text{Нм}$
0	0,02	376,05
4,16	10,95	376,05
8,33	21,88	376,05
12,50	32,81	376,05
16,66	43,74	376,05
20,83	54,67	376,05
25	65,60	376,05
29,17	65,60	322,33
33,33	65,60	282,04
37,50	65,60	250,70
41,66	65,60	225,63
45,83	65,60	205,12
50	65,60	188,03
54,16	65,60	173,56
58,33	65,60	161,17
62,5	65,60	150,42

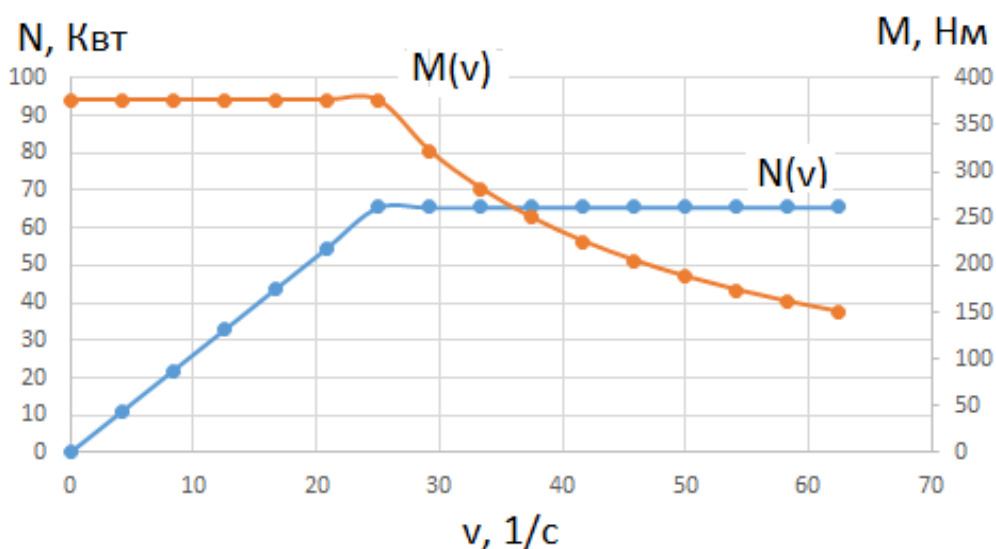


Рисунок 3.3 – Зовнішня швидкісна характеристика ТЕМ

3.1.6 Розрахунок узгоджувального редуктора та побудова зовнішньої швидкісної характеристики ГСУ.

У прийнятій схемі ГСУ для підсумовування потужностей ДВЗ та ЕМ використовувався первинний вал МКПП з підключеним пристроєм включення - відключення ЕМ. Дане з'єднання є муфтою крутного моменту, для розрахунку якої застосовується рівняння:

$$\frac{V}{r_k} i_{тр} = \frac{v_{двз}}{i_{двз}} = \frac{v_{ем}}{i_{ем}}, \quad (3.14)$$

де V – швидкість руху автомобіля, м/с; r_k – радіус колеса, м; $i_{тр}$ – передавальне число трансмісії; $v_{ем}$, $v_{двз}$ – частота обертання ДВЗ та ЕМ, 1/с; $i_{пн}$, $i_{тр}$, $i_{двз}$, $i_{ем}$ - передавальні відносини головної передачі, трансмісії, ДВЗ та ЕМ відповідно.

Конструктивною особливістю прийнятої схеми є розташування ДВЗ безпосередньо на валу муфти ($i = 1$), виходячи з цього, можна розрахувати передатне відношення пристрою увімкнення-вимкнення ЕМ. $i_{ем} = 9000 / 5400 = 1,66$.

Знаючи передавальні числа узгоджувального редуктора можна розрахувати і побудувати за даними розрахунків у таблиці 3.5 зовнішню швидкісну характеристику ГСУ (рисунок 3.5, таблиця 3.5):

$$M = M_{двз} i_{двз} + M_{ем} i_{ем}. \quad (3.15)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 3.5 – Дані зовнішньої швидкісної характеристики ГСУ.

$v, 1/c$	$N, кВт$	$M, Нм$
0	0	35,66
6,66	1,28	35,66
13,33	8,71	109,00
20	14,46	120,14
26,66	20,87	129,59
33,33	27,72	137,36
40	34,79	143,45
46,66	41,89	142,89
53,33	47,50	141,46
60	52,70	139,17
66,66	57,28	136,03
73,33	61,04	132,04
80	63,75	126,69
86,66	65,20	119,82
93,33	65,19	111,69

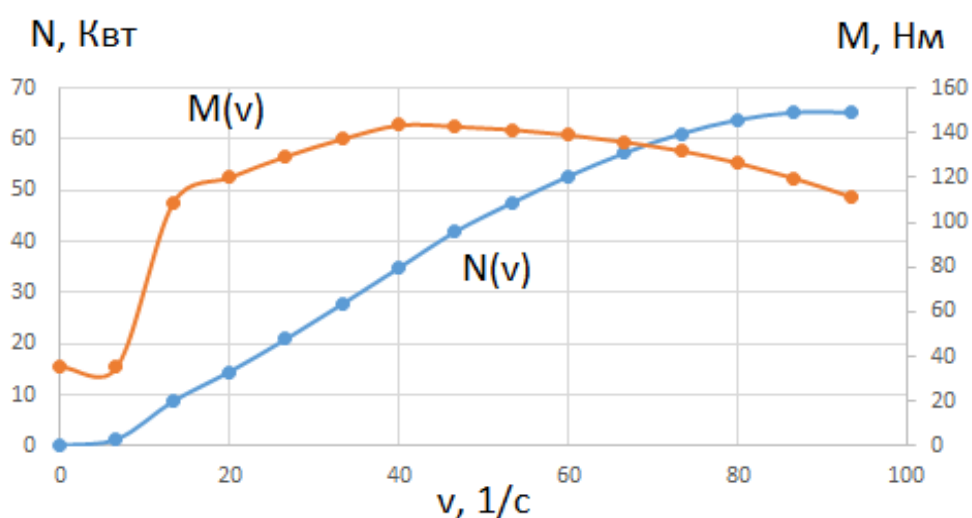


Рисунок 3.5 – Зовнішня швидкісна характеристика ГСУ.

3.1.7 Визначення передавальних чисел.

Передатне число головної передачі визначається за умови досягнення максимальної швидкості:

$$i_{гп} = 6,27 \frac{r_k v_{в}}{i_{кв} v_{max}} \quad (3.16)$$

де v_v – частота, що відповідає максимальній швидкості автомобіля; ДВЗ $v_v = 93,33$ 1/с; для ГСУ $v_v = 90$ 1/с; для ЕМ $v_v = 75$ 1/с; $i_{кв}$ – передавальне число коробки на вищій передачі, $i_{кв} = 0,784$; $i_{ДВЗ} = 3,7$; $i_{ГСУ} = 3,9$; $i_{ЕМ} = 2,57$.

3.1.8 Розрахунок тягово-динамічних показників.

Тягова та динамічна характеристика являє собою графіки залежностей: $P_k = f(V)$ та $D = f(V)$ на всіх передачах, а також $P_w = f(V)$; $P_\psi = f(V)$ та $\psi = f(V)$ на горизонтальній дорозі, і розраховуються на підставі наступних залежностей.

Сила тяги на колесі:

$$P_k = \frac{M_T i_{TP} \eta_{TP}}{r_{п}} \quad (3.17)$$

Швидкість руху:

$$V = 0,376(r_k n_T) i_{TP} \quad (3.18)$$

Опір дороги:

$$P_\psi = \psi G_a, \quad (3.19)$$

$$\Psi = f = f_0(1 + k_1 V^2), \quad (3.20)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

при $\alpha = 0$.

Опір повітря:

$$P_w = \frac{k_F V^2}{13} (1 + k_3 \Pi), \quad (3.21)$$

Динамічний фактор:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_n}, \quad (3.22)$$

де $i_{тр} = i_{к0} i_{дн}$ – передавальне число трансмісії за наявності коробки передач, додаткової або роздавальної коробки та головної передачі; $r_d = r_k$ під час руху без пробуксовування; Π – кількість причепів чи напівпричепів; k_3 – коефіцієнт, що враховує вплив причепа або напівпричепа на опір повітря, що надається автопоїзду; f_0 – Табличне значення коефіцієнта опору дороги; $f_0 = 0,016$ для сухого асфальтобетонного та бетону першої та другої категорій доріг. (Розмірність: M – Нм; n – об/хв; V – км/год; r – м; G_n – Н; k_F – Нс²/м²; $k_1 = (4...5) \cdot 10^5$).

Кут підйому, який долає автомобіль на кожній передачі при різних значеннях рівномірної швидкості та заданому коефіцієнті опору кочення, визначається за рівнянням:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right). \quad (3.23)$$

3.1.9 Розрахунок прискорення.

Час рівномірного руху автомобіля зазвичай малий порівняно з загальним часом його роботи. Показниками динамічних властивостей автомобіля при нерівномірному русі є величини прискорень, а також шлях і час, необхідний для руху у певному інтервалі зміни швидкості.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Прискорення руху, який може розвивати автомобіль за заданих умовах, що характеризує прийомистість автомобіля: чим більше прискорення, тим вище за інших рівних умов середня швидкість руху, а, отже, і продуктивність автомобіля.

Прискорення автомобіля знаходять із формули:

$$a = (D - f)g / \delta. \quad (3.24)$$

При повному навантаженні, високому ККД трансмісії та відсутності буксування можна скористатися наближеним виразом:

$$\delta = 1,03 + k_3 i_k^2 i_{\text{дн}} \quad (3.25)$$

де $k_4 = 0,06$. Тоді: $\delta_1 = 1,824$; $\delta_2 = 1,824$; $\delta_3 = 1,824$; $\delta_4 = 1,824$; $\delta_5 = 1,824$;

Обчислені за формулами (3.18) – (3.25) значення занесені до таблиць програми (додаток А), і за цими результатами побудовані графіки залежностей $P_k = f(V)$ і $D = f(V)$ на всіх передачах, а також $P_\psi = f(V)$; $P_k = f(V)$; $\alpha = f(V)$ та $\psi = f(V)$ на горизонтальній дорозі, зображені рисунках 3.6 – 3.9.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

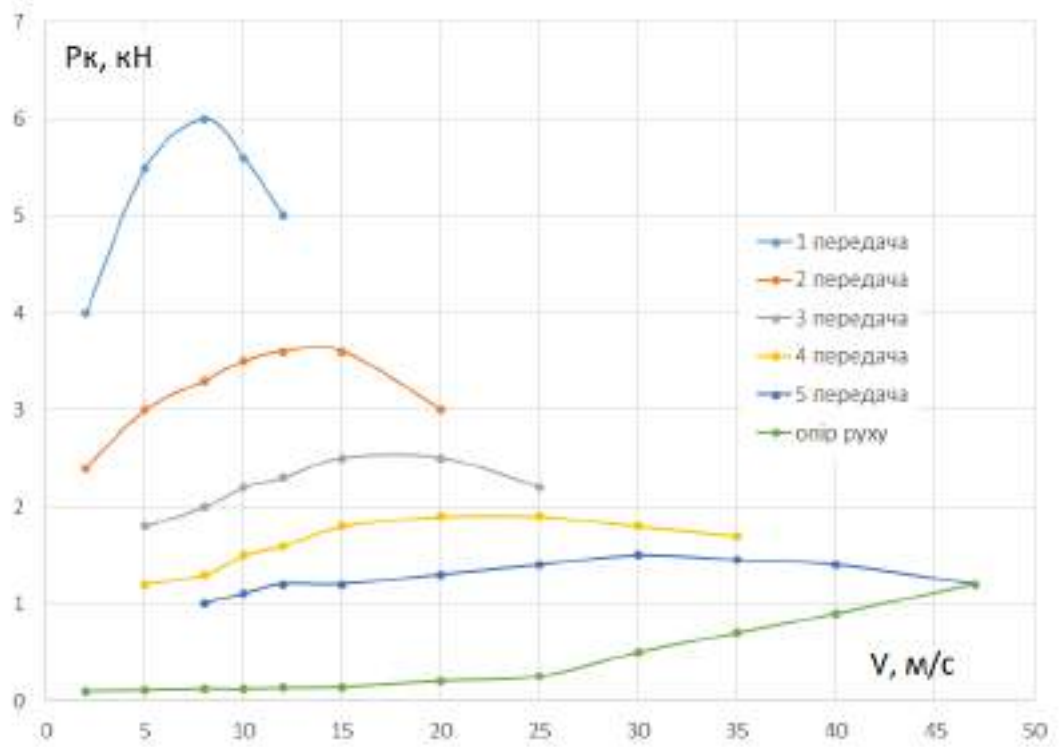


Рисунок 3.6 – Тяговий баланс автомобіля з ДВЗ.

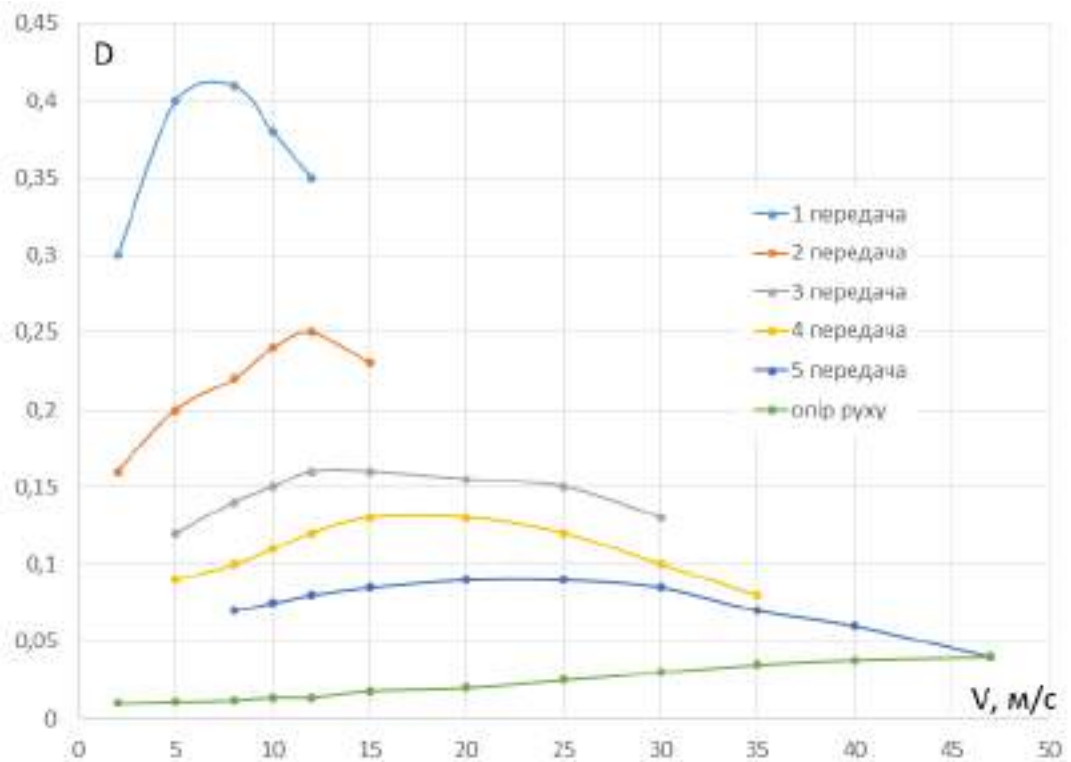


Рисунок 3.7 – Динамічний баланс автомобіля з ДВЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.1.10 Визначення часу, шляху та прискорення.

Прискорення повністю характеризує здатність автомобіля до швидкого прискорення, але не дає достатньо наочного уявлення про прийомистість автомобіля. Тому визначають час та шлях прискорення, які дозволяють виявити прийомистість автомобіля в більш наочній формі і порівняти автомобілі за цими показниками.

Оскільки відсутній аналітичний зв'язок між зворотним прискоренням ($1/a$) та швидкістю (V), час прискорення зазвичай визначають графоаналітично. Для побудови залежності часу прискорення від швидкості всю площу під кривою $1/a=f(V)$ розбивають вертикальними лініями на ділянки з інтервалом 10 км/год. Для спрощення розрахунків площу кожної ділянки замінюють площею рівновеликої ділянки з висотою:

$$\frac{1}{a_{cp}} = \frac{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}}{2}, \quad (3.26)$$

де $1/a_1$ та $1/a_2$ – зворотні прискорення на початку та в кінці інтервалу швидкості.

Тоді для ділянки, наприклад, при зміні швидкості від V_1 до V_2 час прискорення:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6 \cdot a_{cp}}, \quad (3.27)$$

де a – прискорення, м/с²

Аналогічно визначаємо $t_2, t_3, t_4 \dots t_n$ по інших ділянках.

Шлях прискорення визначають із співвідношення $V=dS/dt$:

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = \int_{t_2}^{t_1} V dt. \quad (3.28)$$

Цей інтеграл вирішують також графоаналітично, використовуючи графік $t=f(V)$.

Для побудови графіка $S=f(V)$ цю площу розбивають горизонтальними лініями на кілька ділянок. Для спрощення підрахунку площа кожної ділянки замінюють площею рівновеликої ділянки з тією самою основою та висотою:

$$V_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (3.29)$$

де V_1 і V_2 – швидкості відповідно на початку та наприкінці ділянки. При зміні швидкості від V_1 до V_2 .

$$S_1 = (t_2 - t_1) \cdot \frac{V_{cp}}{3,6}. \quad (3.30)$$

Аналогічно визначаємо $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$, за іншими ділянками. Дані занесені до таблиць 3.6 – 3.8.

Таблиця 3.6 – Час, шлях та прискорення автомобіля з послідовною ГСУ

V, м/с	t, с	S, м
2,70	1,42	1,91
5,41	2,84	7,68
8,11	4,27	17,34
10,82	5,71	30,95
13,52	7,16	48,61
16,23	8,63	70,43
18,93	10,26	99,09
21,63	12,22	138,84

Закінчення таблиці 3.6

24,34	14,56	192,61
27,04	17,35	264,41
29,75	20,72	359,96
32,45	24,84	488,09
35,16	30,03	663,68
37,86	36,92	915,21
40,56	46,99	1309,97
43,27	65,79	2098,07

Таблиця 3.7 – Час, шлях та прискорення автомобіля з ДВЗ

V, м/с	t, с	S, м
1,65	0,59	0,48
2,47	1,15	1,63
3,30	1,64	3,06
4,12	2,10	4,75
4,95	2,52	6,70
5,77	2,93	8,89
6,60	3,33	11,34
7,43	3,72	14,08
8,25	4,11	17,13
9,08	4,50	20,55
9,90	4,91	24,38
10,73	5,33	28,73
11,55	5,77	33,70
12,18	6,13	37,92

Закінчення таблиці 3.7

13,53	6,92	48,09
14,89	7,72	59,51
16,24	8,55	72,41
17,59	9,42	87,12
18,95	10,35	104,12
19,51	10,78	112,35
21,46	12,39	145,28
23,41	14,07	183,09
25,36	15,87	227,09
27,32	17,86	279,33
28,25	18,94	309,42
30,82	22,31	409,07
33,39	26,12	531,38
35,96	30,65	688,24

Таблиця 3.8 – Час, шлях та прискорення автомобіля з паралельною ГСУ

V, м/с	t, с	S, м
0,83	1,54	0,64
1,67	2,53	1,88
2,50	2,97	2,80
3,33	3,37	3,97
4,17	3,75	5,37
5,00	4,10	7,00
5,84	4,45	8,88

Закінчення таблиці 3.8.

6,67	4,80	11,08
7,50	5,16	13,60
8,34	5,52	16,48
9,17	5,89	19,75
10,00	6,28	23,48
8,99	5,78	18,75
10,27	6,44	25,04
11,56	7,10	32,29
12,84	7,78	40,60
14,13	8,49	50,09
15,41	9,22	60,94
14,81	8,84	55,17
16,66	10,13	75,42
18,51	11,46	98,82
20,37	12,85	125,83
22,22	14,32	157,16
21,93	14,06	151,54
24,37	16,49	207,79
26,81	19,09	274,36
29,24	21,94	354,08
32,73	27,81	536,13
36,37	36,57	838,76
40,00	48,22	1283,46
43,64	67,46	2088,40

За знайденими точками будуюмо криві $S=f(V)$ та $t=f(V)$, зображені на рисунках 3.10 – 3.12.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

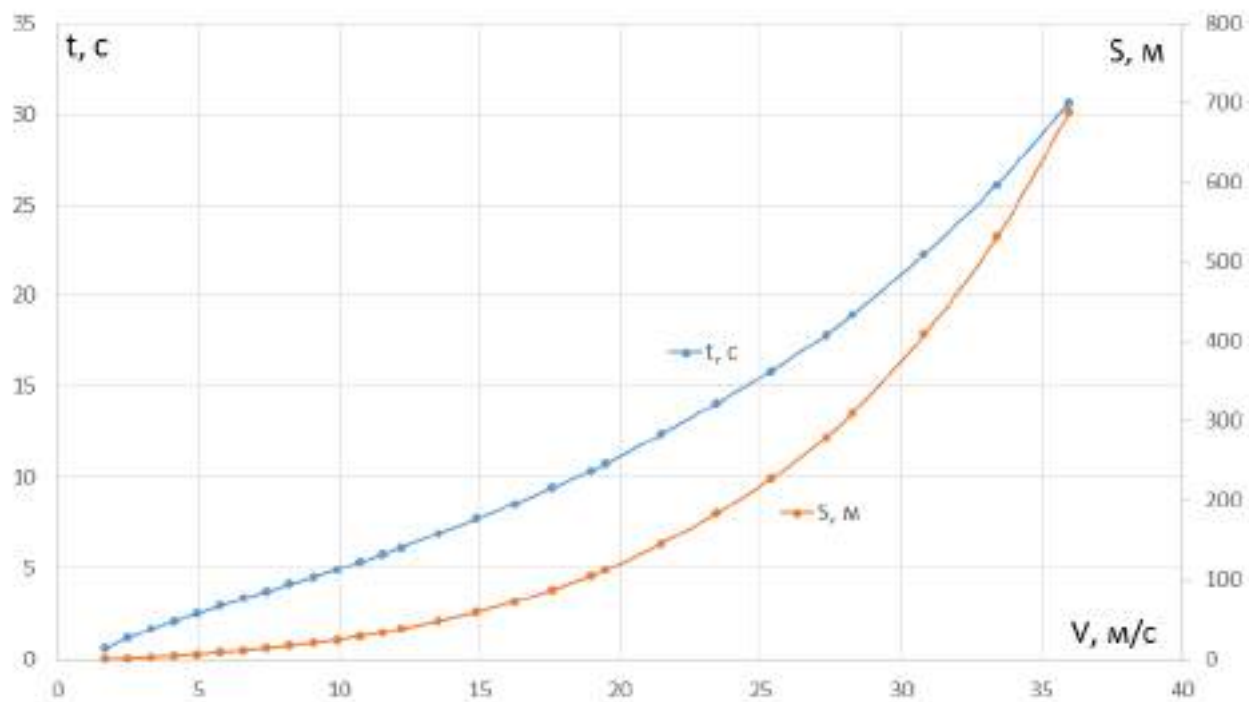


Рисунок 3.10 – Час, шлях та прискорення автомобіля з ДВЗ

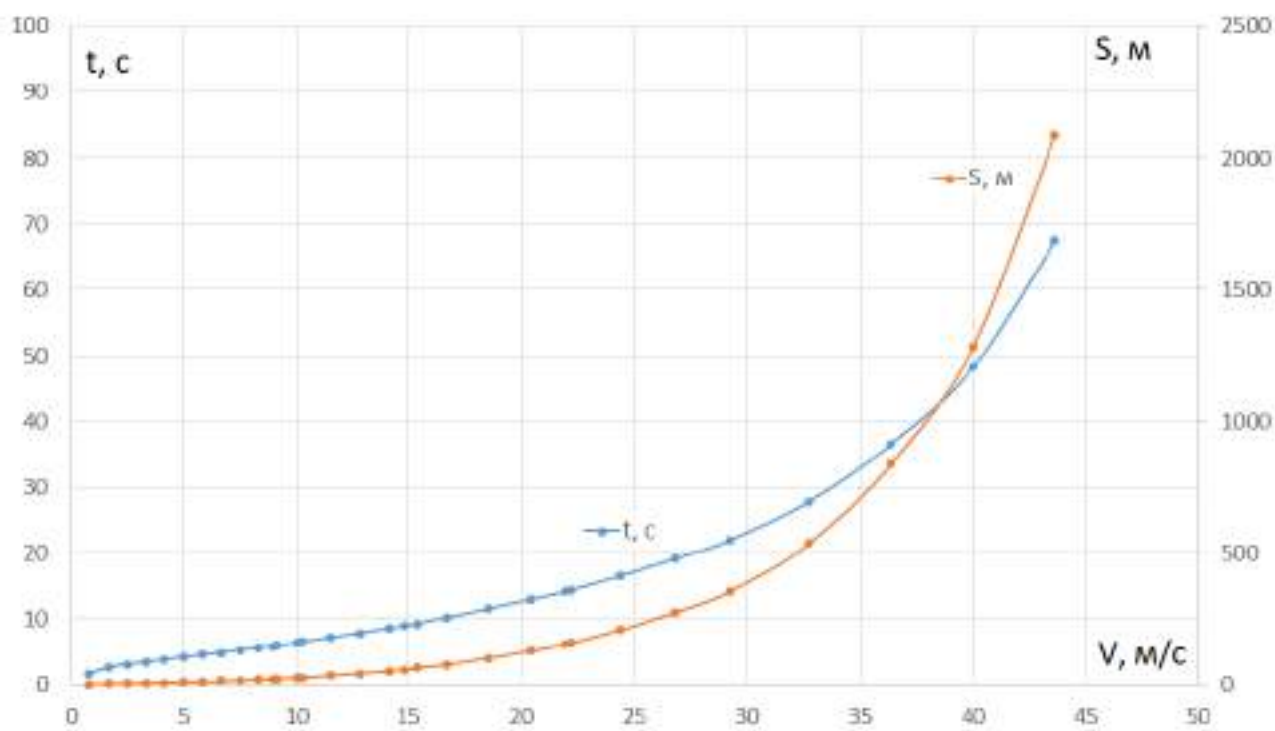


Рисунок 3.11 – Час, шлях та прискорення автомобіля з паралельною ГСУ

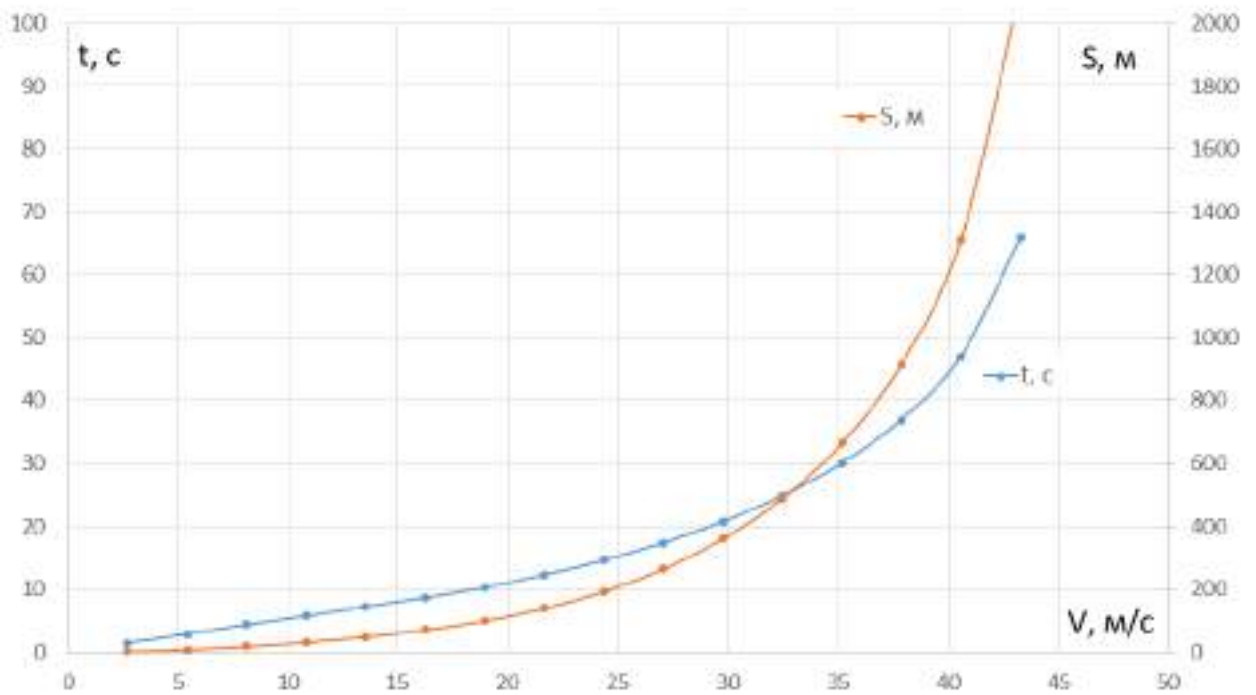


Рисунок 3.12 – Час, шлях та прискорення автомобіля з послідовною ГСУ.

3.2 Паливно-економічний розрахунок.

Паливно-економічний розрахунок автомобіля з ГСУ зводиться до визначення витрати палива, витрата палива у магістральному та міському циклі NEDC (New European Driving Cycle).

З рівняння руху автомобіля знаходимо силу на привідних колесах автомобіля:

$$P_u = P_k - P_d - P_p, \quad (3.31)$$

де P_k – сила на колесах; P_d – сила опору дороги, Н; P_p – сила опору повітря, Н; P_u – наведена сила інерції автомобіля.

$$P_k = \frac{M i_{tr} \eta_{tr}}{r_k}, \quad (3.32)$$

$$P_d = \psi mg, \quad (3.33)$$

$$P_p = k F V^2, \quad (3.34)$$

$$P_u = m \delta a, \quad (3.35)$$

$$\frac{M i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{r_k} = \Psi m g + k F V^2 + m \delta a, \quad (3.36)$$

де M - крутний момент силової установки, Нм; $i_{\text{тр}}$ - передатне відношення трансмісії, для ДВЗ на кожній передачі: $i_{\text{тр}1} = 13,34$; $i_{\text{тр}2} = 8,7$; $i_{\text{тр}3} = 6$; $i_{\text{тр}4} = 4,57$; $i_{\text{тр}5} = 3,07$; для ЕМ $i_{\text{тр}} = 2,57$; $\eta_{\text{тр}} = 0,9$ - ККД трансмісії; $r_k = 0,266$ - радіус колеса, м; $m = 1000$ - маса автомобіля, кг; $k_F = 0,45$ - фактор обтічності, $\text{Нс}^2/\text{м}^2$; $\delta = 1,29$ - коефіцієнт обліку оберткових мас.

Таким чином, знаючи передавальні числа трансмісії, крутний момент силової установки у будь-який момент часу:

$$M(t) = \frac{(\Psi m g + k F V^2 + m \delta a) r_k}{i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}. \quad (3.37)$$

$$v(t) = \frac{V i_{\text{тр}}}{6,28 r_k}, \quad (3.38)$$

$$N(t) = 6,28 M v. \quad (3.39)$$

Що стосується традиційних автомобілів з ДВЗ це дозволило визначити режим роботи ДВЗ у кожен час. І за паливно-економічною характеристикою розрахувати миттєву витрату палива в кожний момент часу їздового циклу. Взявши припущення, що при негативних значеннях крутного моменту і включеної муфті зчеплення витрата палива дорівнює нулю, так як двигун працює у гальмівному режимі.

Отже, годинна витрата палива у кожний проміжок часу:

$$G = g_e N, \quad (3.40)$$

Де g_e - Питома витрата палива двигуна, г/кВтгод.

І шляхова витрата палива за цикл у літрах на 1000 км:

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_1 \int S dv} 10^5, \quad (3.41)$$

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

де $\rho = 730$ – щільність палива, кг/м^3 , S - шлях, пройдений за цикл, км. $Q = 9,69$ л/100 км.

Для автомобіля з послідовною ГСУ аналогічно автомобілю з ДВЗ, розрахунок паливно-економічних показників за їздовий цикл визначається за режимами роботи тягової ЕМ у кожний момент часу. І за характеристикою ефективності ЕМ розрахувати потужність споживаної електродвигуном.

Витрата енергії за весь їздовий цикл:

$$E_{EM} = \int N dt, \quad (3.44)$$

$E_{EM} = 0,135$ кВтгод.

Така ж кількість енергії повинна виробити генераторна установка на основі ДВЗ:

$$E_{ТЕМ} = E_{ГЕМ}. \quad (3.45)$$

Взявши припущення, що режим роботи генератора проходить у зоні максимальної ефективності, тоді енергія, вироблена ДВЗ, дорівнює:

$$E_{ДВЗ} = E_{Г} \eta_{Г\max}, \quad (3.46)$$

де $\eta_{Г\max} = 0,9$ максимальний ККД генератора. $E_{ДВЗ} = 0,15$ кВтгод.

ДВЗ працює також у зоні максимальної ефективності, при мінімальній питомій витраті з годинною витратою:

$$G_{\min} = g_{\min} N, \quad (3.47)$$

де $g_{\min} = 250$ - мінімальна питома витрата палива, г/кВтгод. $G_{\min} = 7,5$ кг/год

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді шляхова витрата палива автомобіля з послідовною ГСУ дорівнює:

$$Q = \frac{G_{\min} E_{\text{двс}}}{3,6 \rho_r N_{g\min} f S_{\text{дв}}} 10^5, \quad (3.48)$$

де $N_{g\min} = 30$ Нт – потужність ДВЗ при мінімальній питомій витраті палива. $Q = 5,06$ л/100 км.

Для автомобіля з паралельною ГСУ необхідно враховувати спільну роботу ДВЗ та ЕМ. А саме алгоритм їхньої спільної роботи, характеристики злагоджуючого пристрою та відношення потужностей двигунів.

Основним чинником більшості алгоритмів роботи ГС є робота ДВЗ за характеристикою мінімальних питомих витрат $M = f(n, g)$. Знаючи значення крутного моменту силової установки, необхідного для руху в їздовому циклі, можна знайти недостатнє значення моменту електричної машини в тяговому або генераторному режимі:

$$M_c = M_{\text{ДВЗ}} + M_{\text{ем}} \quad (3.49)$$

Якщо крутний момент електричної машини в генераторному режимі перевищує своє максимальне значення, значення крутного моменту ДВЗ обчислюється за формулою:

$$M_{\text{ДВЗ}} = M_c - M_{\text{ем max}}. \quad (3.50)$$

Так само якщо крутний момент силової установки менше максимального крутного моменту ЕМ: $M_c \leq M_{\text{ем max}}$. Тоді транспортний засіб приводиться в рух лише ЕМ і $M_{\text{ДВЗ}} = 0$.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Також необхідно забезпечити підтримку заряду накопичувача енергії за весь їздовий цикл, витрата енергії не повинна бути більшою від виробленої енергії: $E_{ем} \leq 0$.

$$E_{EM} = \int N dt . \quad (3.51)$$

Потужність електричної машини в тяговому та генераторному режимі:

$$N_{TEM} = \frac{Mv}{\eta_{EM}} , \quad (3.52)$$

$$N_{ГЕМ} = \frac{Mv}{\eta_{ГЕМ}} . \quad (3.53)$$

А витрата палива ДВЗ за рівняннями 3.40 та 3.41: $Q = 4,6$ л/100км.

Розраховані автомобілі з силовими установками з ДВЗ, ДСУ та ЕМ однієї максимальної потужності мають схожі динамічні характеристики, час і шлях прискорення. Але їхні паливно-економічні характеристики у міському циклі кардинально відрізняються один від одного, що дозволяє зробити висновок про ефективність використання тієї чи іншої силової установки.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз основних типів електромобільної промисловості таких як BEV, PHEV, NEV та REEV. Оцінено їх переваги та недолки.

2. Наведено методику тягово-динамічного розрахунку автомобіля з ГСУ для основних схем ГСУ, що враховує особливості використовуваних електромашин та узгоджувальних пристроїв і дозволяє визначити необхідні динамічні властивості.

3) Методика паливно-економічного розрахунку дозволяє визначити показник витрати палива за їздовий цикл, що застосовна до основних схем ГСУ.

4) Розрахунком встановлено, що автомобілі з силовими установками з ДВЗ, послідовною ГСУ та паралельною ГСУ рівною максимальної потужності 65 кВт мають відмінності в динамічних характеристиках, часі та шляху розгону не перевищують 5%. Але їх паливно-економічні характеристики у міському циклі кардинально відрізняються одна від одної. Витрата палива в їздовому циклі автомобіля з ДВС, послідовної ГСУ та паралельної ГСУ склав 9,6; 5,1 та 4,6 літра на 100 км відповідно, що дозволяє зробити висновок про ефективність використання ГСУ.

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

12. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с

13. Міський електромобіль в Україні / В. Б. Павлов, О. В. Попов, В. С. Павленко та ін. // Технічна електродинаміка : нук-техн. журнал. – Київ, 2011. – Темат. вип. (ч. 1). – С. 127–131.

14. Смирнов О.П. Вибір та розрахунок джерела живлення для електромобіля / О.П. Смирнов // Наукові нотатки. – 2012. – № 36. – С. 260-263.

15. Hybrid Vehicles, Electric Vehicles, Fuel Cell Electric Vehicles, Kazuki Shimamura, Masatoshi Kuwada, Yoshiyuki Hashimasa, Society of Automotive Engineers of Japan[текст], SAE International, 2013.

16. Defining the General Motors 2-Mode Hybrid Transmission, Tim M. Grewe, Brendan M. Conlon and Alan G. Holmes, General Motors SAE International, 2007.

17. Kazuaki Shingo, Kaoru Kubo, Toshiaki Katsu, and Yuji Hata. Development of Electric Motors for the TOYOTA Hybrid Vehicle "PRIUS"[текст]. Toyota Motor Corporation, 2010.

18. Смирнов О.П. Оцінка економічності електромобілів / О.П. Смирнов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №9 (180) Частина 1 – С. 30-34.

19. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.renault.ua/engines-innovation/thermal-engines.html>

20. Бороденко Ю.М. Концепція діагностики електропривода гібридного автомобіля / Ю.М. Бороденко, А.В. Черевач // Автомобільний транспорт. – 2012. № 30. – С. 59 – 64.

										Арк.
										84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДОДАТКИ

					ДРАТ 24.21146.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Особливості експлуатації гібридних та електричних автомобілів



Виконав ст. гр. АТс-21-2:

Скрипник Андрій Миколайович

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. ТАМ:

Посонський Сергій Феліксівч

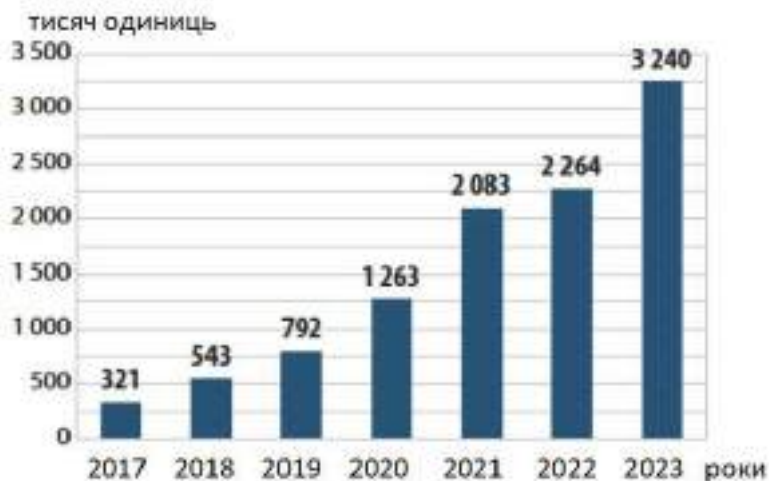
На сьогодні гостро стоїть проблема виснаження нафтових ресурсів. За нинішніх темпх споживання за прогнозами, її вистачить приблизно 90 – 110 років.

Великі виробники автомобілів бачать вирішення цих проблем у переході на альтернативні джерела енергії, та зменшення частки роботи бензинових та дизельних двигунів в автомобілі, за рахунок застосування спільно з ним електродвигунів (гібридні силові вузли), або застосування електродвигунів у поєднанні з системою акумуляторних батарей, що потребують зовнішнього джерела живлення для відновлення заряду (електромобілі)

Мета роботи – аналіз експлуатації та оцінка тягово-динамічних і паливно-економічних властивостей гібридних автомобілів.

Завдання роботи:

- 1) Виконати аналіз особливостей конструкцій та умов роботи електромобілів.
- 2) Розробити методика розрахунку тягово-динамічних та паливно-економічних показників гібридних електромобілів з урахуванням особливостей їх компонентів та умов роботи.
- 3) Виконати чисельний розрахунок гібридних автомобілів за різними схемами поєднання.



Динаміка світового ринку електромобілів у 2017-2023 роках

Обсяг українського ринку електромобілів незначний у порівнянні зі США, Китаєм чи європейськими країнами. Його частка становить менше ніж 0,1% від світового споживання. Обсяг ринку електромобілів до 2014 року не перевищував ста одиниць. Активне зростання обсягів продажу електромобілів почалося з 2021 року. Серйозний вплив на збільшення кількості електромобілів мало зниження цін на вживані електромобілі, що експортувались з країн ЄС. Адже максимальний ресурс акумуляторної батареї складає 8 – 10 років, після чого вона потребує заміни, а ціна нової батареї, це 80 % від ціни автомобіля.

Типи електромобілів

Саме поняття «Електромобіль» ще до кінця не сформувалося, і деякі експерти відносять до електромобілів, як автомобілі тільки з електричним двигуном, так і гібридні автомобілі з можливістю зовнішньої підзарядки. Тоді як інші готові під терміном «електромобілі» розуміти машини з виключно електричною силовою установкою»



BEV
BATTERY ELECTRIC
VEHICLE
(електромобіль із батарейним
живленням)



REEV
Range Extended Electric Vehicle
(електромобіль з збільшеним
запасом пробігу)



PHEV
Plug-in Hybrid Electric Vehicle
(гібридний автомобіль з
електромотором та ДВЗ)



HEV
HYBRID ELECTRIC
VEHICLE
(Гібридний електромобіль)

Електромобілі BEV

BEV – це електромобіль із батарейним живленням, який отримує абсолютно всю енергію від своїх акумуляторів та електродвигунів. В ньому повністю відсутня ДВЗ. В електродвигуні використовуються акумулятори, які виробляють свою зарядку від джерела електроенергії, тобто від зарядного пристрою або від мережевої розетки. Прикладом такого типу електромобілів можуть бути:

Характеристики	«Volkswagen e-Golf»	Tesla Model 3	Nissan LEAF
Пробіг автомобіля без підзарядки, км	300	350-520	270-389
Ємність літій-іонної батареї, кВт.	36	62/75	40
Потужність електродвигуна, к.с.	136	473/412/283	150
Час прискорення з 0 до 100 км/год., с.	9,6	3,3-5,8	7,9
Максимальна швидкість, км/год	150	250	144
Роки виробництва:	з 2017 до сьогодні	з 2016 до сьогодні	з 2010 до сьогодні
Тип кузова	5-ти дверний хетчбек	5-ти дверний седан	5-ти дверний хетчбек
Привід	передній	задній/повний	передній
Тривалість заряду від розетки (220В):	18	29-32	21
Об'єм багажника, л.	340	561-594	435



Volkswagen e-Golf



Nissan LEAF

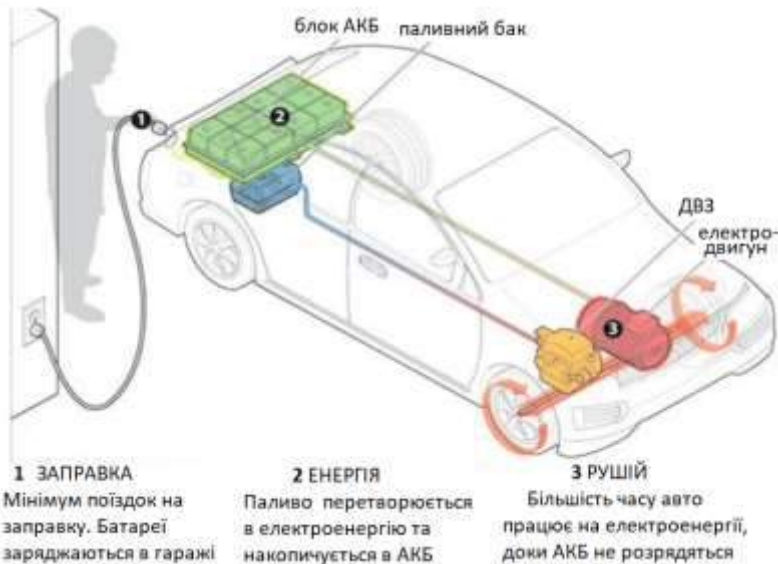


Tesla Model 3.

Електродвигун, в порівнянні з ДВЗ, забезпечує високий та постійний крутний момент у досить широкому діапазоні швидкостей, починаючи від 0 км/год. Отже, більшості електромобілів BEV не потрібна ні знижувальна коробка передач, ні більш ускладнені елементи та системи управління двигуном, які у свою чергу були супутником ДВЗ та їх трансмісіям.

Електромобілі PHEV

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) - це гібридний автомобіль з електромотором та ДВЗ. Акумулятор необхідно заряджати від зовнішніх джерел енергії. Як правило, акумулятор PHEV має достатньо більшу ємність, ніж у звичайних гібридів. Відповідно і запас ходу на одному баку набагато більше.



Принцип роботи плагін гібридного автомобіля та його основні вузли

Основою плагін - гібридів є силова установка, що складається з бензинового та електричного двигунів. У плагін-гібридному електромобілі першу головну роль відіграє електромотор, який приводить електромобіль у рух. Бензиновий ДВЗ включається в роботу при сильному натисканні газу або досить швидкому наборі швидкості.



Range Rover PHEV P400e

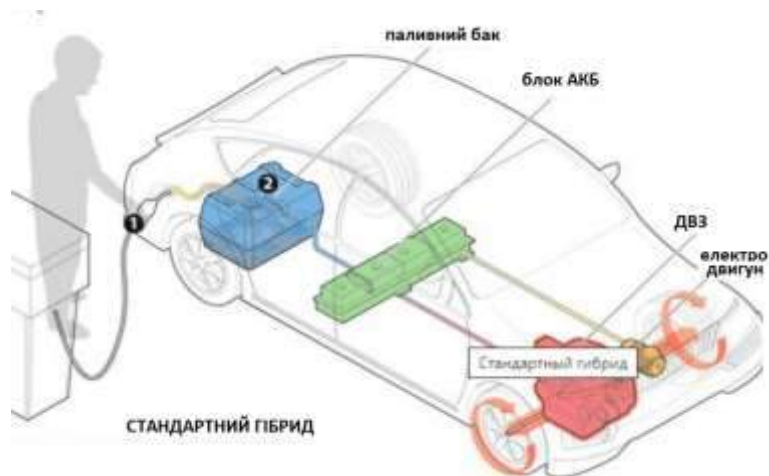


Toyota Prius XW50 Plug-in Hybrid

Характеристики	Range Rover PHEV P400e	Toyota Prius PHEV XW50
Пробіг автомобіля:		
- без підзарядки (на електродвигуні), км	48	60
- без дозаправки, км	827	1150
Потужність електродвигуна + ДВЗ, к.с.	404	122
Час прискорення з 0 до 100 км/год, с.	6,8	10,6
Максимальна швидкість, км/год	210	180
Об'єм ДВЗ, літрів	2,0	1,8
Тип палива	бензин	бензин
Витрата палива на 100 км, л.	2,8	3,3
Роки виробництва:	2019 - 2022	2011-2016
Об'єм багажника, л.	472	502
Тип кузова: 5-ти дверний	позашляховик	хетчбек
Привід	повний	передній

Електромобілі HEV

Гібридний електромобіль (HEV) - тип гібридного електромобіля та транспортного засобу, який одночасно поєднує електричну силову установку (трансмісію гібридного автомобіля) з силовою установкою ДВЗ. Наявність електричного силового агрегату необхідна для досягнення суттєвої продуктивності та економії палива.



Принцип роботи гібридного автомобіля, його основні вузли та агрегати

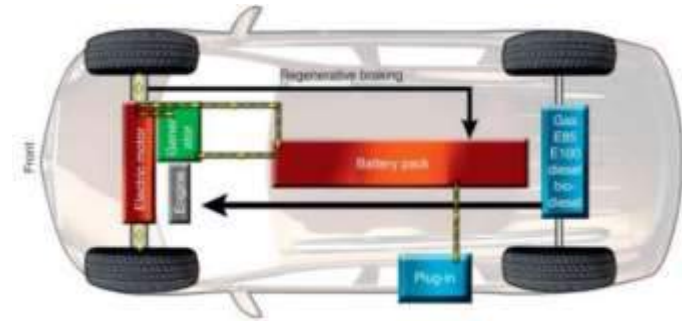
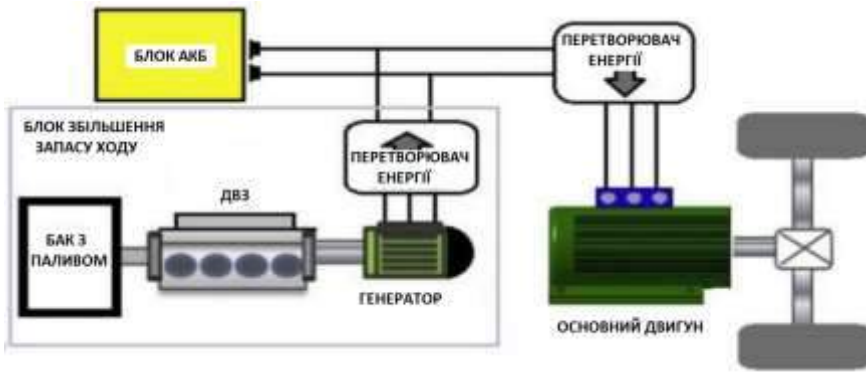
Автомобіль можна використовувати як звичайний електромобіль значну частину пробігу, а в момент падіння заряду нижче відведеного рівня, запускається невеликий дизельний чи бензиновий двигун та машина здійснює далі свій рух як гібрид, наводячи в роботу тяговий електродвигун та роблячи зарядку накопичувачів. Після того, як накопичувачі наберуть 100 % заряду двигун вимикається. Потім цей цикл повторюється

Яскравим і найцікавішим прикладом гібридного автомобіля в світі є **Audi A6 Hybrid**. Технічні характеристики гібридного автомобіля Audi A6 Hybrid:

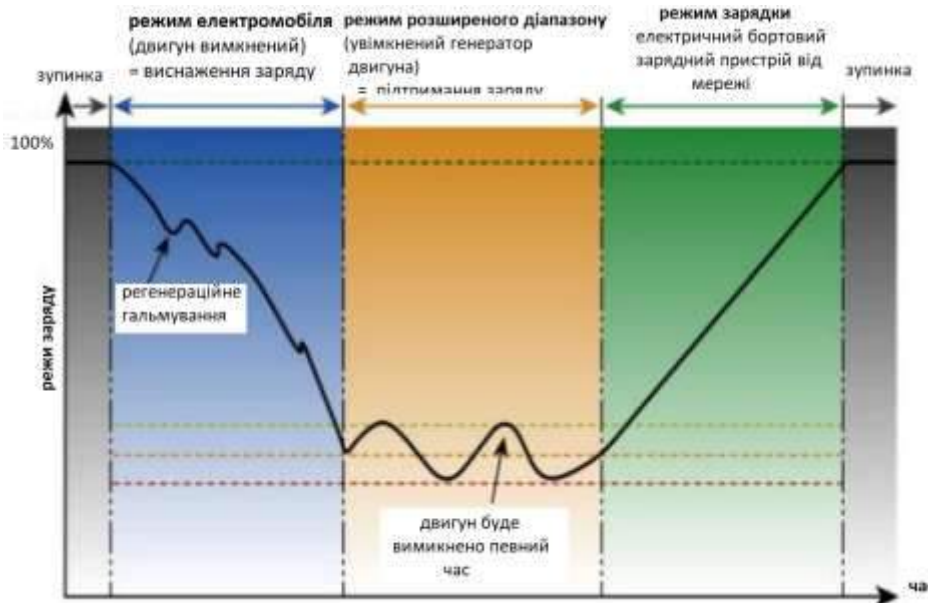
- Час прискорення з 0 до 100 км/год – 5.1 сек.;
- Максимальна швидкість – 240 км/год;
- Витрата палива на 100 км – 6.2 л.;
- Робочий об'єм двигуна 2.0 л.;
- Роки виробництва: з 2019 до теперішнього часу;
- Об'єм багажника – 375 л.;

Електромобілі REEV

Range Extended Electric Vehicle (REEV) - це електромобіль з збільшеним запасом пробігу. У REEV енергію для акумулятора виробляє відносно невеликий паливний генератор. Принцип роботи та основні вузли електромобілів REEV показані на рисунку



Chevrolet Volt 2 має абсолютно повністю електричну силову установку, тобто безпосередньо тільки сам електродвигун призводить до руху привідні колеса за будь-яких режимів експлуатації.

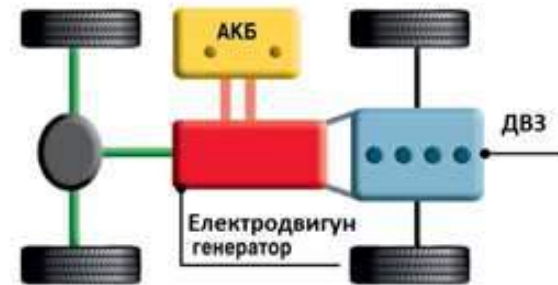


За певних трьох рівнів розвитку ситуації серйозності: зеленому, помаранчевому та червоному – електромобіль автоматично переходить у режим збільшеної дальності. У той час, коли електромобіль REEV здійснює свою роботу в даному режимі, ДВЗ підключається тільки по мірою певної необхідності для того, щоб підтримувати та заряджати акумулятор у межах потрібного діапазону SoC, який відзначений червоною та зеленою пунктирними лініями. Але, після завершення поїздки АКБ SoC повертається із живленням, на 100 % взятим із мережі.

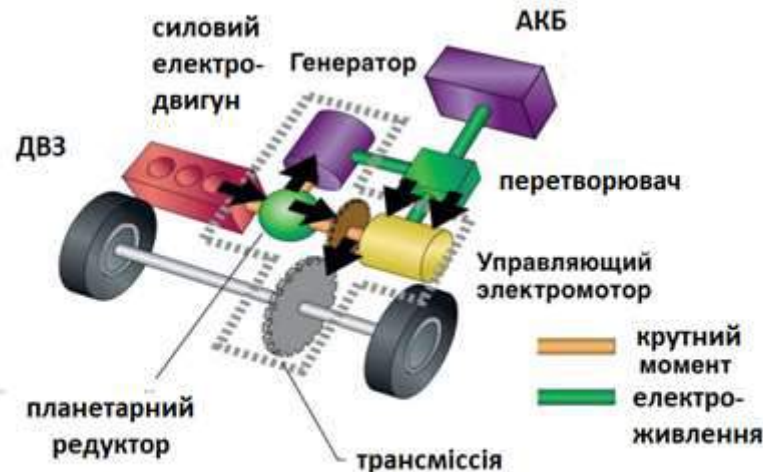
Схеми взаємодії роботи електродвигуна та ДВЗ

У літературі розрізняють велику кількість різновидів гібридних схем. силових установок залежно від взаємодії двох видів енергії компонентів гібридної силової установки між собою. Але загалом їх можна поділити на дві групи.

Послідовну схему, в якій відсутній механічний зв'язок між електричною машиною та двигуном внутрішнього згоряння, а присутній електричний. І паралельну, в якій електрична машина та двигун внутрішнього згоряння мають механічний зв'язок між собою.



Паралельна схема гібридної силової установки



Послідовно-паралельна схема гібридної силової установки.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АВТОМОБІЛЯ З ГСУ

Застосування до автомобілів з ГСУ методики тягово-динамічного розрахунку вимагає доопрацювання і має враховувати взаємозв'язок двигуна внутрішнього згоряння та електричної машини, їх взаємне розташування та витікаючі з цього особливості трансмісії.

Алгоритм розрахунку автомобіля з ГСУ послідовної схеми має вигляд:	Алгоритм розрахунку автомобіля з ГСУ паралельної схеми набуде вигляду:
<ol style="list-style-type: none"> 1) Визначення повної маси автомобіля; 2) Підбір колеса та шин; 3) Вибір електромотора та побудова її зовнішньої швидкісної характеристики; 4) Визначення передавальних чисел; 5) Розрахунок тягово-динамічних показників; 6) Розрахунок прискорення; 7) Визначення часу шляху та прискорення. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Визначення повної маси автомобіля; 2) Підбір колеса та шин; 3) Вибір максимальної потужності силової установки; 4) Вибір ДВЗ та побудова його зовнішньої швидкісної характеристики. 5) Вибір електромотора та побудова його швидкісної характеристики. 6) Розрахунок узгоджувального редуктора. 7) Визначення передавальних чисел. 8) Розрахунок тягово-динамічних показників. 9) Розрахунок прискорення. 10) Визначення часу шляху та часу прискорення

Паливно-економічний розрахунок автомобіля з ГСУ зводиться до визначення показників паливної економічності, регламентованих нормативними документами, міжнародним Правилком ЕЕК ООН № 015. До цих показників відносяться контрольна витрата палива, витрата палива в магістральному та міському циклі

годинна витрата палива в кожний проміжок часу

$$G = g_e N$$

Дорожня витрата палива за цикл у літрах на 100 км

$$Q = \frac{f g dt}{3,6 \rho_f \int S dt} \cdot 10^5$$

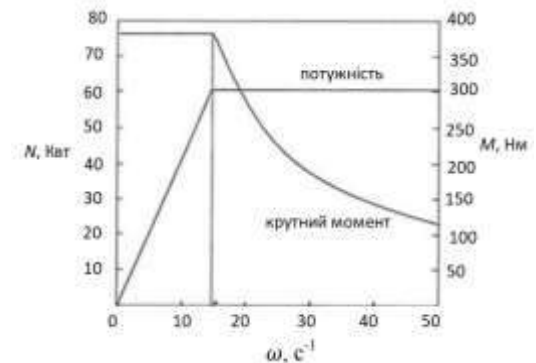
за характеристикою ефективності ЕМ розраховується потужність, що споживається електродвигуном.

$$N_{\text{ТЕМ}} = \frac{Mv}{\eta_{\text{ЕМ}}}$$

Максимальна потужність силової установки визначається з умови досягнення максимальної швидкості за рівнянням

$$N_{V_{\text{max}}} = \frac{\Psi_{V_{\text{max}}} G_a V_{\text{max}} + k F V_{\text{max}}^3}{1000 \eta_{\text{тр}} V_{\text{max}}}$$

застосовуються тягові електродвигуни з «м'якою» механічною характеристикою, показаною на рисунку



шляхова витрата палива автомобіля з послідовною ГСУ

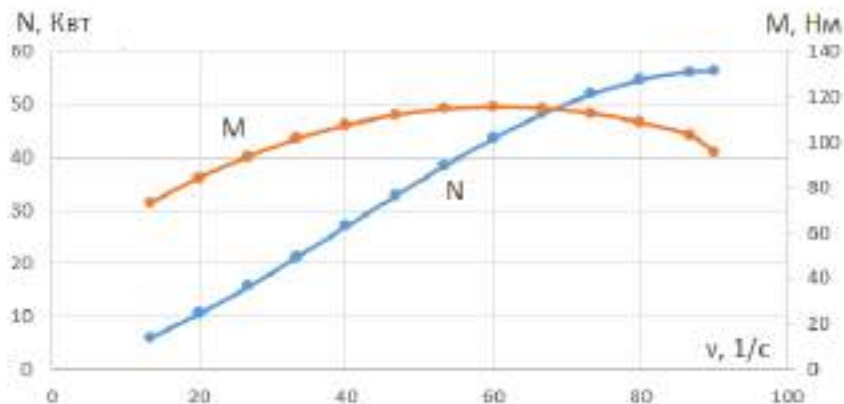
$$Q = \frac{G_{\text{min}} E_{\text{ДВЗ}}}{3,6 \rho_f N_{g \text{min}} \int S dt} \cdot 10^5,$$

РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ З ГСУ

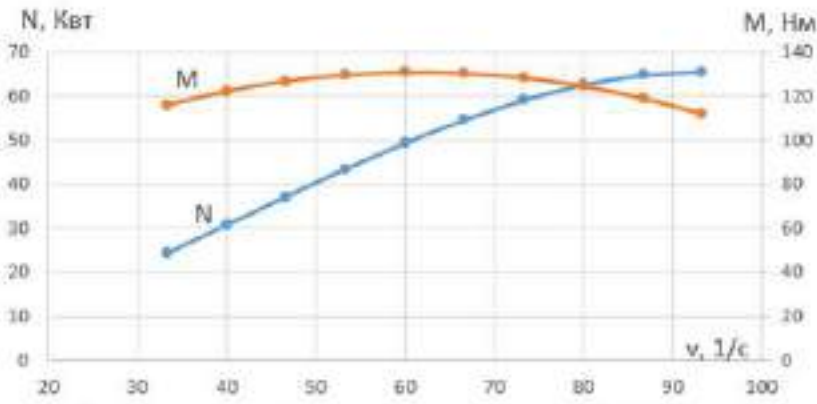
За запропонованими методиками тягово-динамічного та паливно-економічного розрахунків пропонується провести розрахунки автомобілів з різними силовими установками, потужність яких розрахована на досягнення ідентичної максимальної швидкості. Автомобіля з ДВЗ, електромобіля або автомобіля з ГСУ послідовної схеми, автомобіля з ГСУ паралельної схеми із співвідношенням потужностей ДВЗ та ЕМ від 1 до 15. Для оцінки використання даного співвідношення потужностей, що використовується у переважній більшості ГСУ

У разі розрахунку автомобіля з ДВЗ та ГСУ паралельної схеми проводиться вибір ДВЗ з числа вироблених з максимальною потужністю 65 кВт (88 к.с) та 56 кВт (76 к.с) відповідно. Під дані характеристики підходять двигуни автомобілів родини «RENAULT», а саме бензиновий чотирициліндровий рядний двигун «K7M», що має об'єм 1,6 літра, потужність – 88 к.с, та бензиновий чотирициліндровий рядний двигун «D7F», що має об'єм 1,2 літра, потужність – 76 к.с.

$$N_m = N_{max} \left[a \left(\frac{n_m}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right],$$



Зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ «K7M»



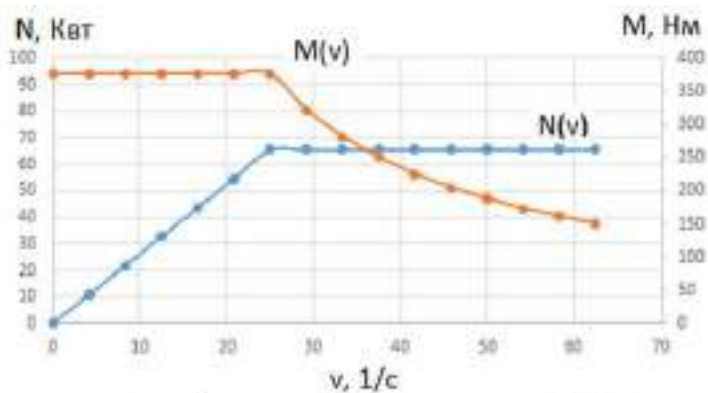
Зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ «D7F»

РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ З ГСУ

Вибір електромотора та побудова його швидкісної характеристики

ЕМ для електромобіля (послідовної ГСУ) визначається за умови до досягнення максимальної потужності. А у разі ГСУ паралельної схеми із вибраного співвідношення потужностей ДВЗ та ЕМ. ЕМ потужністю 65 і 9 кВт відповідно.

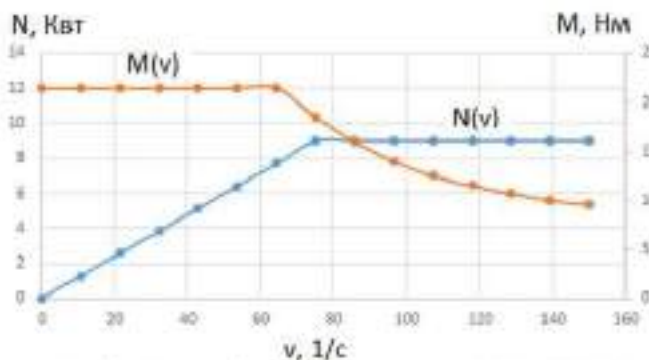
Зовнішня швидкісна характеристика описується системою рівнянь:



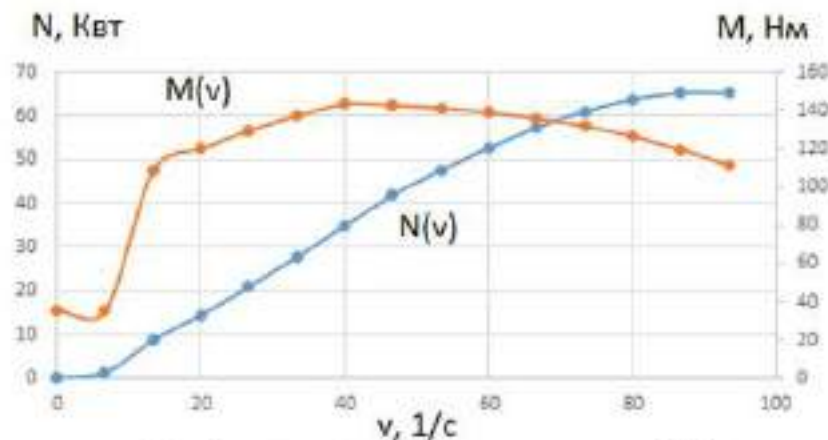
Зовнішня швидкісна характеристика ТЕМ

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq v \leq v_x$$

$$M_{кр} = \frac{M_{max} v_{max}}{v} \text{ при } v_x \leq v \leq v_{max}$$



Зовнішня швидкісна характеристика ЕМ ГСР-9000

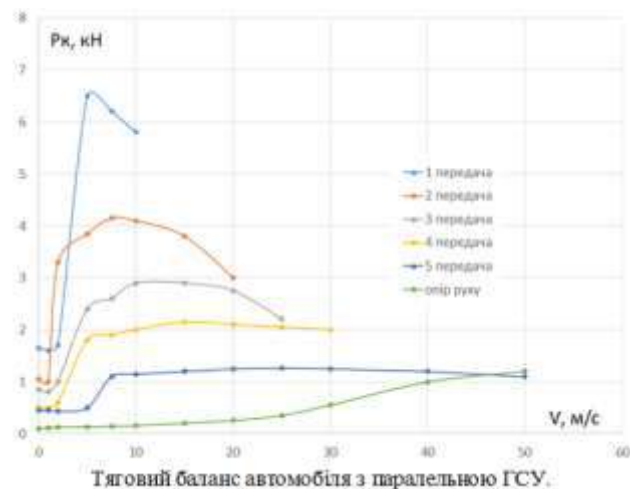
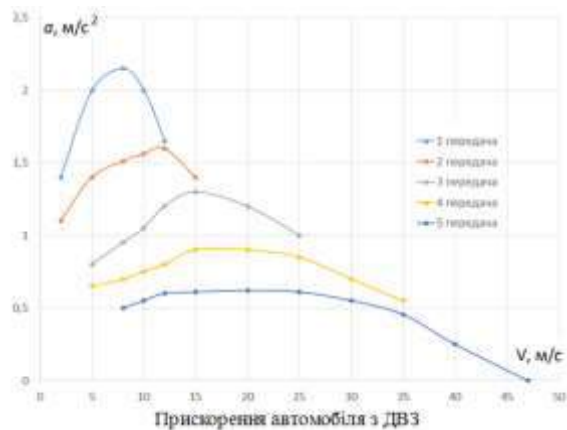
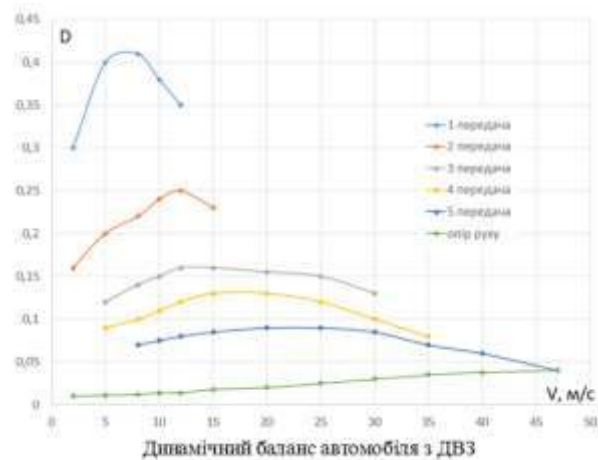
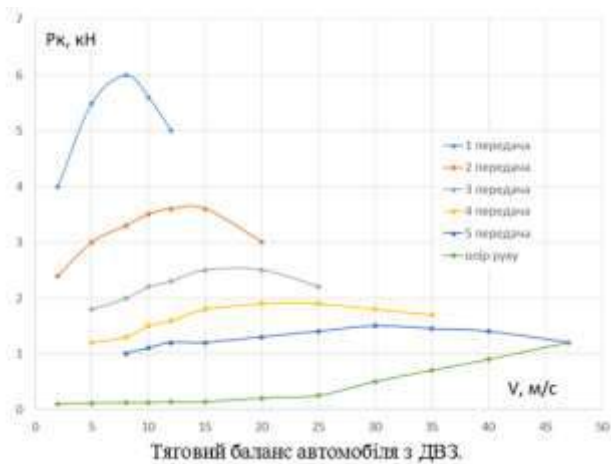


Зовнішня швидкісна характеристика ГСУ.

РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ З ГСУ

Показниками динамічних властивостей автомобіля при нерівномірному русі є величини прискорень, а також шлях і час, необхідний для руху у певному інтервалі зміни швидкості.

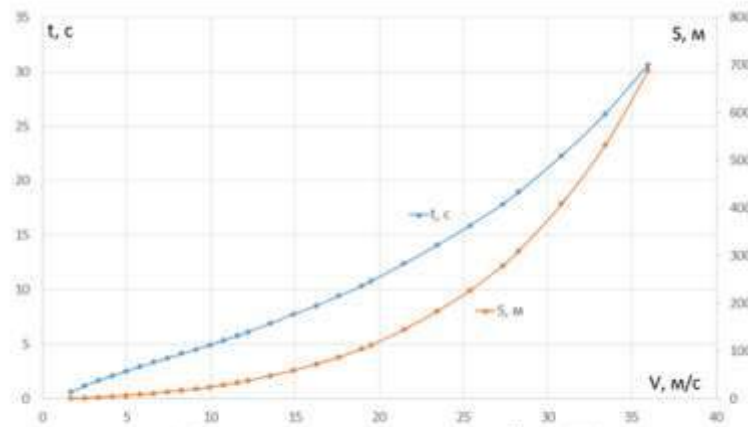
Прискорення руху, який може розвивати автомобіль за заданих умов, що характеризує прийомистість автомобіля: чим більше прискорення, тим вище за інших рівних умов середня швидкість руху, а, отже, і продуктивність автомобіля.



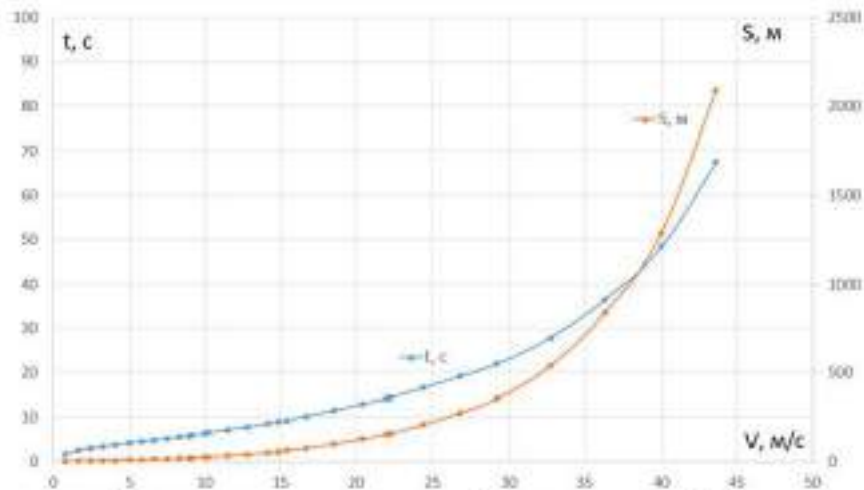
РОЗРАХУНОК ТЯГОВО-ДИНАМІЧНИХ І ПАЛИВНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ з ГСУ

Показниками динамічних властивостей автомобіля при нерівномірному русі є величини прискорень, а також шлях і час, необхідний для руху у певному інтервалі зміни швидкості.

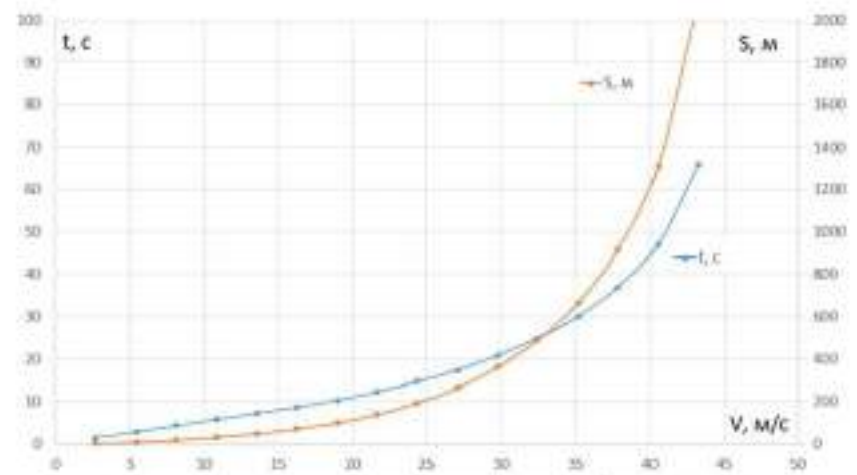
Прискорення руху, який може розвивати автомобіль за заданих умов, що характеризує прийомистість автомобіля: чим більше прискорення, тим вище за інших рівних умов середня швидкість руху, а, отже, і продуктивність автомобіля.



Час, шлях та прискорення автомобіля з ДВЗ



Час, шлях та прискорення автомобіля з паралельною ГСУ



Час, шлях та прискорення автомобіля з послідовною ГСУ

Паливно-економічний розрахунок

знаючи передавальні числа трансмісії, крутний момент силової установки у будь-який момент часу:

$$M(t) = \frac{(\psi mg + kFV^2 + m\delta a)r_k}{i_{тр}\eta_{тр}}$$

$$v(t) = \frac{V i_{тр}}{6.28 r_k}$$

$$N(t) = 6.28 Mv.$$

шляхова витрата палива за цикл у літрах на 1000 км

$$Q = \frac{\int G dt}{3.6 \rho_T \int S dv} 10^5,$$

Q = 9,69 л/100 км. Для автомобіля з ДВЗ

Для автомобіля з послідовною ГСУ аналогічно автомобілю з ДВЗ, розрахунок паливно-економічних показників за їздовий цикл визначається за режимами роботи тягової ЕМ у кожний момент часу. І за характеристикою ефективності ЕМ розрахувати потужність споживаної електродвигуном

Витрата енергії за весь їздовий цикл

$$E_{EM} = \int N dt$$

E_{EM} = 0,135 кВтгод.

Така ж кількість енергії повинна виробити генераторна установка на основі ДВЗ

Взявши припущення, що режим роботи генератора проходить у зоні максимальної ефективності, тоді **енергія**, вироблена ДВЗ, дорівнює:

$$E_{ДВЗ} = E_G \eta_{Гmax}$$

E_{ДВЗ} = 0,15 кВтгод

шляхова витрата палива автомобіля з послідовною ГСУ

$$Q = \frac{G_{min} E_{двс}}{3.6 \rho_T N_{Гmin} \int S dv} 10^5,$$

Q = 5,06 л/100 км.

Для автомобіля з паралельною ГСУ необхідно враховувати спільну роботу ДВЗ та ЕМ. А саме алгоритм їхньої спільної роботи, характеристики злягоджуючого пристрою та відношення потужностей двигунів.

Потужність електричної машини в тяговому та генераторному режимі:

$$N_{ТЕМ} = \frac{Mv}{\eta_{ЕМ}}$$

$$N_{ГЕМ} = \frac{Mv}{\eta_{ГЕМ}}$$

$$M_c = M_{ДВЗ} + M_{ЕМ}$$

$$M_{ДВЗ} = M_c - M_{ЕМmax}$$

витрата палива ДВЗ

$$Q = \frac{\int G dt}{3.6 \rho_T \int S dv} 10^5,$$

Q = 4,6 л/100 км.

автомобілі з силовими установками з ДВЗ, послідовною ГСУ та паралельною ГСУ рівною максимальної потужності 65 кВт мають відмінності в динамічних характеристиках, часі та шляху розгону не перевищують 5%. Але їх паливно-економічні характеристики у міському циклі кардинально відрізняються одна від одної. Витрата палива в їздовому циклі автомобіля з ДВЗ, послідовної ГСУ та паралельної ГСУ склав 9,6; 5,1 та 4,6 літра на 100 км відповідно, що дозволяє зробити висновок про ефективність використання ГСУ

ВИСНОВКИ

- 1. Виконано аналіз основних типів електромобільної промисловості таких як BEV, PHEV, HEV та REEV. Оцінено їх переваги та недолки.
- 2. Наведено методику тягово-динамічного розрахунку автомобіля з ГСУ для основних схем ГСУ, що враховує особливості використовуваних електромашин та узгоджувальних пристроїв і дозволяє визначити необхідні динамічні властивості.
- 3) Методика паливно-економічного розрахунку дозволяє визначити показник витрати палива за їздовий цикл, що застосовна до основних схем ГСУ.
- 4) Розрахунком встановлено, що автомобілі з силовими установками з ДВЗ, послідовною ГСУ та паралельною ГСУ рівною максимальної потужності 65 кВт мають відмінності в динамічних характеристиках, часі та шляху розгону не перевищують 5%. Але їх паливно-економічні характеристики у міському циклі кардинально відрізняються одна від одної. Витрата палива в їздовому циклі автомобіля з ДВС, послідовної ГСУ та паралельної ГСУ склав 9,6; 5,1 та 4,6 літра на 100 км відповідно, що дозволяє зробити висновок про ефективність використання ГСУ.



Дякую за увагу !