

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

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

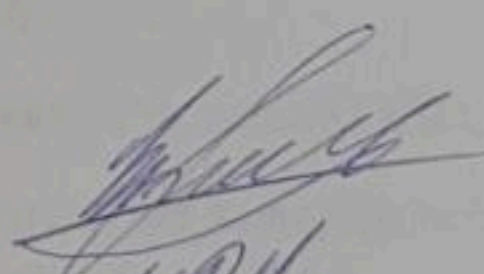
**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
МАОГ.482146.006-00 ПЗ**

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
бакалавр

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

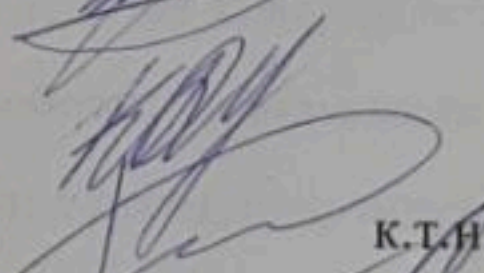
**Тема: «АВТОМОБІЛЬ КАТЕГОРІЇ М1 З ГІБРИДНОЮ
СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ»**

Виконав:



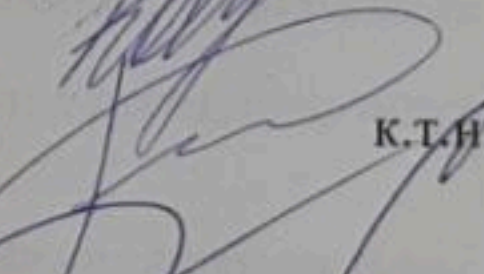
ст. групи ЗААГ-21 Олексій ІВАНЮК

Керівник:



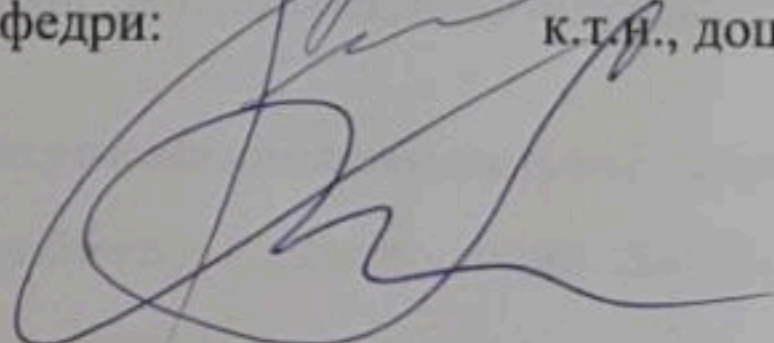
к.т.н., доц. Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Завідувач кафедри:



к.т.н., доц. Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Андрій Зіньченко

Житомир 2023

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

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

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «бакалавр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир ІНУМЛЯКІВСЬКИЙ

«14» лютого 2023р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня бакалавр

Іванюка Олексія Васильовича

1. Тема роботи: «Автомобіль категорії М1 з гібридною силовою установкою» затверджена наказом вищого навчального закладу від «17» квітня 2023 року №146

Керівник роботи: Руслана КОЛОДНИЦЬКА

2. Строк подання студентом завершеної роботи 22.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: довідникова література, нормативно-правові документи, зібрані дані з переддипломної практики.

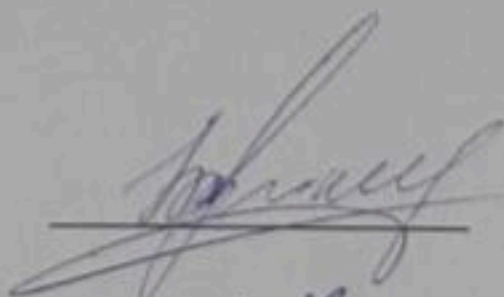
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): технологічний розділ, конструкторський розділ, список використаних джерел, додатки.

Дата видачі завдання «14» лютого 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

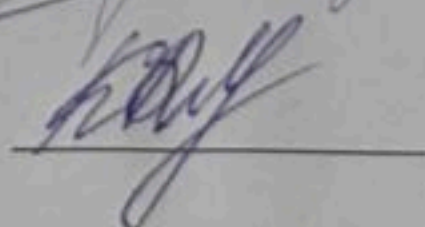
№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Визначення переваг і недоліків гібридних автомобілів	20.02.2023	<i>Виконав</i>
2.	Вибір основних технічних рішень і визначення параметрів гібридного автомобіля	12.03.2023	<i>Виконав</i>
3.	Конструкторська розробка	28.03.2023	<i>Виконав</i>
4.	Охорона праці	15.04.2023	<i>Виконав</i>
5.	Оформлення літературних джерел	29.05.2023	<i>Виконав</i>
6.	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2023	<i>Виконав</i>
7.	Рецензування	12.06.2023	<i>Виконав</i>
8.	Попередній захист	14.06.2023	<i>Виконав</i>
9.	Захист	16.06.2023	<i>Виконав</i>

Студент



Олексій ІВАНЮК

Керівник роботи



Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Розділ 1. Електромобілі

Електромобілі дуже популярні зараз у всьому світі. Але потрібно враховувати той факт, що електромобіль є екологічним видом транспорту тільки у тому випадку, коли спосіб одержання електроенергії є екологічним. Якщо електроенергія одержується, наприклад, спалюванням вугілля, то це має значний вплив на викиди CO₂ внаслідок джерела одержання електроенергії. Приведемо 10 електромобілів, які є найбільш популярними у Великобританії.

1. *Tesla Model-3*. Tesla Model-3 є найдоступнішим і самим популярним електромобілем Tesla на ринку з моменту його запуску в 2020 році. Цей автомобіль має плавний привід зі швидким стартом, версія Performance може досягти 60 миль / год всього за 3.1 секунди.

2. *Nissan Leaf*. Практичний, зручний електромобіль. Вперше випущений у 2010 році, невеликий, але надійний електромобіль. Nissan Leaf британського виробництва вперше був випущений в 2010 році і одержав серйозне оновлення в 2017 році. Можна повністю зарядити Leaf протягом ночі приблизно за 7.5 годин за допомогою домашнього зарядного пристрою ємністю 7 кВт·год. Або, якщо є доступ до швидкого зарядного пристрою потужністю 50 кВт, то можна отримати до 80% зарядки акумулятора всього за 60 хвилин. Nissan Leaf потужністю 40 кВт·год має діапазон, за оцінками ЕРА, що складає 149 миль, тоді як версія 62 кВт·год має запас ходу до 226 миль.

3. *Tesla Model-S*. Як і раніше популярний варіант з моменту запуску в 2012 році. В даний час є дві моделі на вибір, Model S Dual Motor або Model S Plaid, яка має до 396 миль з 1.99 секундним часом 0-60 миль на годину та максимальною швидкістю 200 миль / год.

4. *Tesla Model Y*. Завдяки надійному діапазону, можливості швидкої зарядки, великій кількості місця та зручній бортовій технології Tesla Model Y є досить популярним електричним сімейним позашляховиком.

5. *Kia e-Niro*. Один з найдоступніших електромобілів далекої дії на ринку, з запасом ходу 282 милі. Він простий у керуванні, стильний, але просторий, практичний і має розширені функції безпеки.

6. *Renault Zoe*. Renault Zoe, з запасом ходу 245 миль, є ще одним електромобілем, який має пристойний запас ходу, привабливий дизайн і відносну доступність. Його офіційний запас ходу становить 245 миль, що для хетчбека такого розміру вражає. Більшість власників заряджатимуть електромобіль за допомогою домашнього зарядного пристрою ємністю 7 кВт·год, який постачається з автомобілем, тобто він має час зарядки від порожнього до повного за 9 годин і 25 хвилин. Якщо ви використовуєте швидший зарядний пристрій, коли перебуваєте на вулиці, тоді Zoe буде заряджатися максимум на 22 кВт·год, повний час зарядки - 2 години 54 хвилини.

7. *Nissan Leaf Acenta*. Acenta має тканинний інтер'єр для додаткового

комфорту та дальність поїздки 245 миль. Це надійний і відносно доступний електромобіль, що може стати ідеальним сімейним автомобілем. Можна заряджати електромобіль вдома від порожнього до повного приблизно за шість з половиною годин за допомогою зарядного пристрою ємністю 7 кВт-год. Якщо буде використовуватися швидший зарядний пристрій, він може перейти від 20% до 80% за годину.

8. *Jaguar I-Pace*. Повністю електричний позашляховик від Jaguar, це гідний суперник Tesla, який був випущений в 2018 році. Це практичний автомобіль з запасом ходу 292 милі. Щоб повністю зарядити I-Pace, знадобиться 12 годин, якщо використовується зарядний пристрій ємністю 7 кВт-год, але швидший зарядний пристрій ємністю 100 кВт-год займе 40 хвилин для забезпечення діапазону 240.

9. *Porsche Taycan*. Повна зарядка з дому займає близько дев'яти годин із зарядним пристроєм ємністю 7 кВт-год, але може перейти від 0% до 80% трохи більше ніж за годину із зарядним пристроєм ємністю 50 кВт-год. Запас ходу становить 268 миль при повній зарядці.

10. *Nissan Leaf Tekna*. Nissan Leaf зі шкіряним дизайном інтер'єру Tekna. Він має запас ходу 268 миль при повній зарядці, він також має музичну систему Bose з семи динаміків.

1.1. Переваги і недоліки електромобілів

Як видно з огляду, що наведений вище, один із недоліків використання електромобіля, це необхідність значного часу для зарядки, а також обмеження по відстані, який він може приїхати. В роботі [1] показані наступні переваги і недоліки електромобілів.

Переваги електромобілів

1. Екологічна безпека.
2. Простота конструкції та управління.
3. Можливість підзаряджання від від побутової електричної мережі.
4. Дешевизна електричної енергії.
5. Тягові електродвигуни мають к.к.д. до 92%-95%.
6. Менший рівень шуму.
7. Висока плавність ходу.
8. Можливість підзаряджання джерел енергії у разі рекуперативного гальмування.
9. Можливість гальмування самим електродвигуном.

Недоліки електромобілів

1. Незначні виділення від електрохімічних акумуляторів.
2. Наслідки ушкодження акумуляторів в разі аварій, що виникають на дорогах.
3. Забруднення під час виготовлення електромобіля на підприємстві.
4. Додаткове електромагнітне поле.

1.2. Методика розрахунку економічності електромобілів.

Для проведення розрахунку паливної економічності обираємо електромобілі Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf, Mercedes Clase B Electric, тому що вони більш всього розповсюджені у країнах Європи, Америці, Азії та інших частинах світу.

Для визначення паливної економічності електромобілів у США вимірюється витрата електроенергії, який витрачається на заряд тягової акумуляторної батареї від стандартної електричної мережі (в США це 120 В, 60 Гц) та еквівалентно перераховується за вартістю у витрату палива. Середня вартість електричної енергії у США складає близько \$ 0,12-0,13 за 1 кВт·год [2], а літр бензину – \$ 0,66 [3].

Проведемо перерахунок паливної економічності електромобілів при експлуатації їх на території України. Вартість 1 кВт·год електроенергії, що відпускається населенню та населеним пунктам (з урахуванням ПДВ) складає в залежності від категорії споживачів від 71,4 коп. до 163,8 коп [4]. Для розрахунку прийемо тариф на електроенергію для населення СкВт = 1,29 грн /кВт·год. за обсяг спожитий від 100 кВт·час до 600 кВт·час електроенергії на місяць, тому що заряд тягової акумуляторної батареї електромобіля потребує значних витрат електричної енергії.

Середня вартість бензину А95 на заправках України 21.10.2016 досягла 22,69 грн.[5] за літр.

Для визначення паливної економічності електромобілів у Італії. Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,07-0,10 за 1 кВт·год.,[2], а літер бензину – \$ 0,94.[3].

Для визначення паливної економічності електромобілів у Швейцарії.

Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,05 за 1 кВт·год.[2], а літер бензину – \$ 0,38[3].

Для визначення паливної економічності електромобілів у Норвегії. Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,08-0,12 за 1 кВт·год.[2], а літр бензину – \$ 0,74[3].

З урахуванням ККД зарядного пристрою, отримуємо вартість 1 кВт*год. енергії

$C_{ЕЛТАБ}$ що запасується в тяговій акумуляторній батареї електромобіля від стандартної електричної мережі 220 В, 50 Гц, грн./кВт·год.

$$C_{ЕЛТАБ} = \frac{C_{КВТ}}{\eta} * 100\% \quad (1)$$

де $C_{КВТ}$ – тариф на електроенергію за 1 кВт·год.;
 η – ККД зарядного пристрою, %.

Вартість електроенергії $C_{Електро}$, що витрачає електромобіль на подолання 1 км шляху, можна розрахувати за формулою, грн./км

$$C_{Електро} = W_{ЕЛ} * C_{ЕЛТАБ} \quad (2)$$

де W_{El} – витрата електроенергії акумуляторної батареї електромобіля для подолання 1 км шляху, кВт·год./км.

Формула (2) з урахуванням формули (1) отримує вигляд, грн./км

$$C_{Електрo} = W_{El} * \frac{C_{кВТ}}{\eta} * 100\% \quad (3)$$

Як правило, за одиницю виміру економічності засобів транспорту береться відстань 100 км, на яку, в даному випадку, електромобіль може витратити декілька кВт·год. електричної енергії, які можна перерахувати у відповідну вартість бензину. Для розрахунку вартості електроенергії, що витрачає електромобіль на відстань 100 км, формула (3) приймає вигляд, грн./100 км

$$C_{Електрo} = W_{El} * \frac{C_{кВТ}}{\eta} * 100\% * 100 \quad (4)$$

Для перерахунку вартості електроенергії у відповідну витрату палива необхідно отриману за формулою (4) вартість (грн./100 км), що витрачена на рух автомобіля, перевести у відповідну витрату палива згідно вартості бензину або дизельного палива у країні, в якій експлуатується гібридний автомобіль, л/100 км.

$$C_{Електрo} = \frac{W_{El} * \frac{C_{кВТ}}{\eta} * 100\% * 100}{C_{палива}} \quad (5)$$

де $C_{палива}$ – вартість палива в країні, в якій експлуатується електромобіль, грн./л.

За формулою (5) проведемо розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілів Fiat 500e, Chevrolet Volt, Kia Ray EV для міського та заміського режимів руху при їх експлуатації на території України. У табл. 1.1 наведені результати розрахунку, за методикою [6].

Таблиця 1.1

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Clase B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електроенергії для подолання 100км	кВт·год./км	30	37	21	25	23	27
Вартість електроенергії для подолання 100 км	грн. / 100 км	35,65	48,07	30,08	39,87	35,05	53,3
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	1,56	1,985	1,36	2,98	2,21	2,35

Проведення розрахунків.

Для розрахунків ККД зарядного пристрою приймаємо 92%.
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху

$$C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВТ}}}{\eta} * 100\% * 100 = 0,24 * \frac{1,29}{92} * 100\% * 100$$

$$= 33,65 \text{ грн./100 км}$$

Еквівалентна витрата палива:

$$C_{\text{Електро}} = \frac{W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВТ}}}{\eta} * 100\% * 100}{C_{\text{палива}}} = \frac{33,65}{22,69} = 1,48 \text{ л/100 км}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для решти автомобілів в міському і заміському режимах. За цим самим принципом проводимо розрахунки для США, Китаю та Данії і результати заносимо до таблиці 1.2, таблиці 1.3, таблиці 1.4 відповідно. (Всі обчислення проведено в Excel). Курс \$ приймаємо 26 грн. за 1\$.

Таблиця 1.2

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Classe B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	84,78	105,98	77,71	113,04	88,32	134,24
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	4,9	6,2	4,53	6,58	5,12	7,82

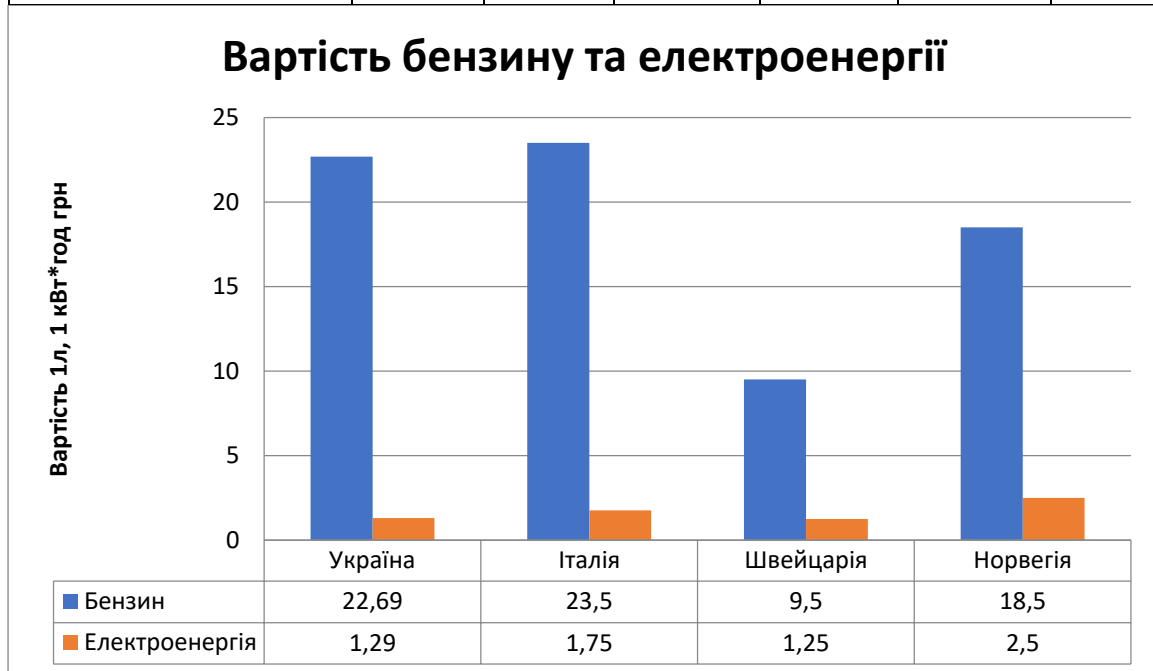
Таблиця 1.3

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Classe B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	542,61	678,26	497,39	723,48	565,22	859,13
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	22,2	27,75	20,35	29,6	23,17	35,15

Таблиця 1.4

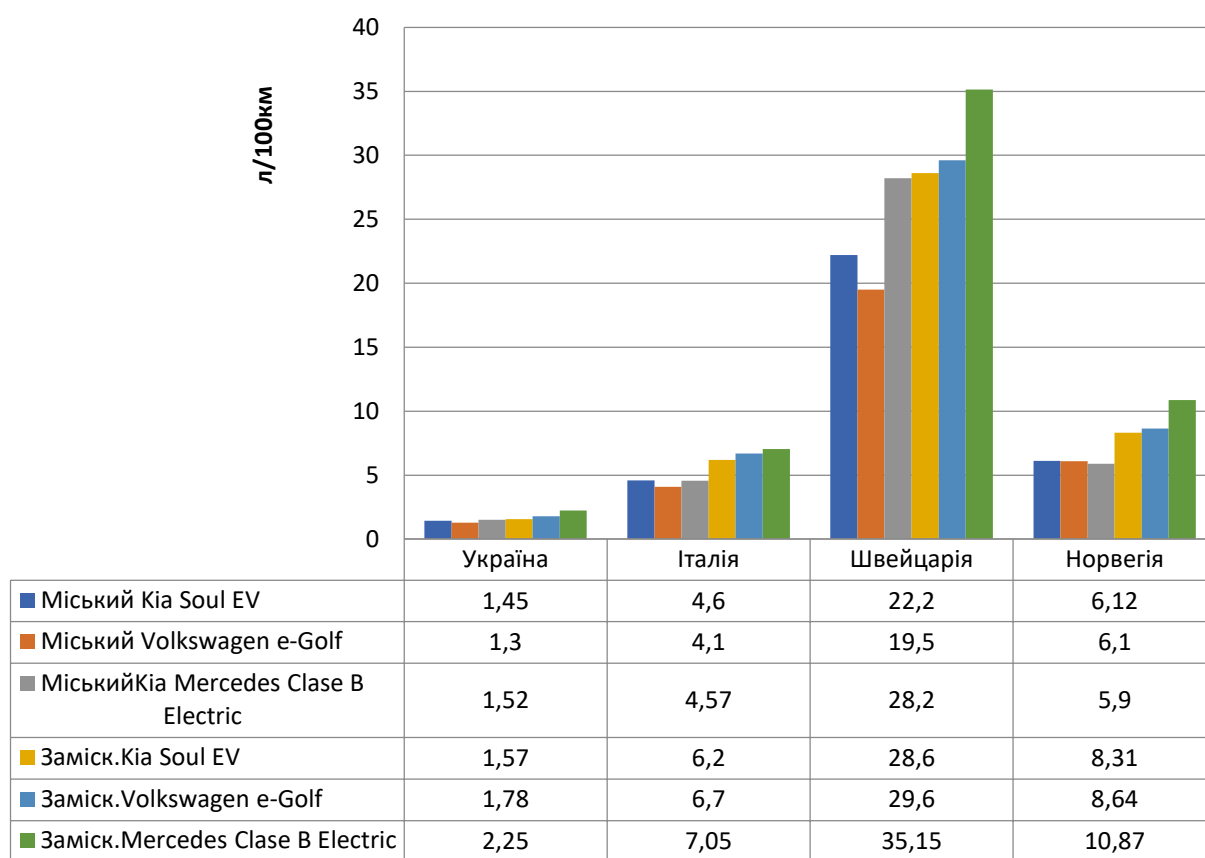
		Kia Soul EV	Volkswagen e-Golf	Mercedes Classe B Electric
--	--	-------------	-------------------	----------------------------

Параметри	Розм.	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	271,3	339,13	248,69	361,74	282,61	429,56
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	6,48	8,1	5,94	8,64	6,75	10,26



В результаті проведених досліджень та розрахунків отримали еквівалентну витрату палива електромобілів Fiat 500e, Chevrolet Volt, Kia Ray EV, для міського та заміського режимів на території зазначених країн.

Еквівалентна витрата палива



1.3. Українські електромобілі

Один з оригінальних електромобілів «Таврія – електро» було створено на Запорізькому автомобільному заводі в 1991-1994 рр. Електромобіль одержав офіційну класифікацію як ЗАЗ 1109. Розробляють автомобілі також у Кривому Розі. Тут розроблений двомісний електромобіль «Джміль».

Український електромобіль COOLON [7]. Уже декілька років український стартап Murmuration Technology (м. Кривий Ріг, Дніпровська область) працює над досить амбітним проектом – електричною вантажівкою під назвою Coolon. У 2020 році фірма представила прототип своєї розробки і в 2021 р. заявила, що вже 2022 року запустить машину у виробництво. Планова вартість автомобіля Coolon оцінюється біля 16 000 доларів США. На Рис.1.1 показаний загальний вигляд українського електромобілю Coolon.



Рис.1.1. Загальний вигляд українського електромобілю Coolon

По суті, Кулон – це шасі, на якому змонтовано прямокутну кабінку і, власне, електричний привід. Можна буде замовити як саму платформу, так і вже готову вантажівку з жорстким кузовом. Довжина вантажівки становить 5 метрів, ширина – 1,7 метра, висота – 2,1 метра. Розмір вантажного майданчика – 1,7 х 3,1 м, об'єм вантажного простору – 9-12 м³. Вантажопідйомність – від 1,5 до 2,5 тон. Машина приводиться у рух мотором CoolDrive потужністю від 68 к.с. до 163 к.с. За доплату можна буде взяти і з двома двигунами, віддача другого агрегату становитиме від 40 до 109 к.с. У першому випадку Кулон є передньопривідним, у другому – повнопривідним. Батарея – літій-залізофосфатна CoolBat, її ємність також варіюється - від 40 до 60 кВт*год.

Електромобіль зможе прискорюватись до 90 км/год (з топовим двигуном) та проїжджати на одному заряді від 200 до 300 км. Бортова електроніка у машини також своя – CoolBlock. У Murmuration Technology обіцяли, що за перший рік випустять 2000 вантажівок, а вже у 2024-2025 роках рівень виробництва становитиме 20 000 машин щорічно. Окрім України, Coolon збираються продавати у Європі. На жаль, війна привела до сповільнення темпів роботи над цим автоомбілем.

1.3. Зарядні станції для електромобілів [8]

Зарядні станції для електромобілів Wallbox. Wallbox - глобальна компанія, яка прагне змінити спосіб використання енергії в світі. Wallbox створює інтелектуальні системи зарядки, які поєднують в собі передові технології з видатним дизайном, керуючи підключенням між автомобілем і зарядним пристроєм за допомогою простих у використанні додатків. Wallbox з номіналом 7,4 кВт прискорить зарядку як мінімум в три рази, в порівнянні зі штатною автомобільною зарядкою в 2,3-3,6 кВт. Зарядки від Wallbox на 22 кВт зарядить в 10 разів швидше.

POWER BOOST. Power Boost динамічно врівноважує доступну енергію між зарядним пристроєм і іншими пристроями в будинку. Це допомагає уникнути перевищення доступною потужності інфраструктури і запобігти відключенню електроенергії. За допомогою Power Boost ніколи не перевищується ліміт електропостачання. І завжди можна заряджатися з максимальною доступною потужністю.

POWER SHARING (DLM) З Power Sharing можна уникнути дорогих оновлень електричної інфраструктури. Ця функція інтелектуальної зарядки найбільш ефективно розподіляє задану кількість енергії між усіма підключеними зарядними пристроями на паркінгах.

Висновки до першого розділу.

1. В цьому розділі проведений порівняльний розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах світу за методикою [6]. Отже, за даною методикою можна провести розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілів різних країнах світу. Результати досліджень паливної економічності електромобілів свідчать, що еквівалентна витрата палива електромобілів на території України нижча, ніж витрата палива автомобілів аналогічного класу з ДВЗ; еквівалентна витрата палива електромобілів на території України менша, ніж еквівалентна витрата палива електромобілів на території інших країн.

Розділ 2 . Автомобілі на паливних комітках (елементах) .

Автомобіль на паливних елементах (FCVs) є найбільш логічний крок у розробці транспортних засобів (ТЗ), які можуть значно допомогти зменшити кількість викопного палива у світі, що споживається для живлення транспортного засобу, який використовується сьогодні. Однією з найбільших переваг паливних коміток є те, що паливні елементи працюють суто на водні.

Паливний елемент (паливна комітка) - це пристрій, який перетворює хімічну енергію палива в електрику за допомогою хімічної реакції позитивно заряджених іонів водню з киснем або іншим окислювачем.

Тобто, паливна комітка виробляє електричний струм безпосередньо з хімічної реакції. Паливні комітки можуть працювати не тільки на водні, але й на інших видах палива: метанолі, біодизельному паливі та. ін.

2.1. Принцип роботи паливних елементів для автомобілів (адаптовано з [9]).

При використанні водневих паливних елементів, двигун працює, використовуючи водень (замість дизельного палива чи бензина) і викидами є проста вода. Сукупність паливних елементів, що з'єднані в одному пакеті, називається **стеком паливних елементів**. Стек паливних елементів перетворює водневий газ, що зберігається в резервуарі високої міцності, з киснем для створення електрики

Як працюють паливні елементи (комітки). Паливний елемент є каталізатором хімічної реакції, що відбувається, поєднуючи водень і кисень для отримання електроенергії. Вони називаються полімерними електролітними мембранами (ПЕМ) або протоннообмінними мембранними паливними елементами. Електроліт -це речовина, яка проводить заряджені частинки (електроліт: субстанція, що проводить заряджені частинки).

Паливні елементи в автомобілях з паливними комітками здатні виробляти близько 1, 16 В електроенергії; цього, очевидно, недостатньо для живлення транспортного засобу, який вимагає близько 400 В для електродвигуна. Щоб забезпечити електричну потужність для мотора, пакуються сотні паливних коміток, вони утворюють стек паливних елементів. Потенційна потужність, що виробляється цим пристроєм залежить від розміру і кількості індивідуальних коміток разом з площею поверхні частини стека паливних елементів під назвою ПЕМ (протонно електрона мембрана).

Паливні елементи, що використовуються в FCV (*Fuel Cell Vehicle*, ТЗ з

паливними комірками), надзвичайно ефективні, особливо якщо порівнювати зі звичайними двигунами внутрішнього згоряння. Водень, який використовується в FCV, отримують з різних джерел.

При використанні чистого водню, паливний елемент (комірка) буде виділяти воду і тепло самостійно; це забезпечує один з найчистіших видів транспорту, який допоможе альтернативувати цілком реальним концепціям зміни клімату через викиди парникових газів, таких як CO₂.

ПЕМ. Основним видом паливних елементів, що використовуються в FCV, є паливний елемент ПЕМ. Конструкція паливного елемента типу ПЕМ складається з електролітної мембрани, що розташована між анодом, який є негативним електродом, і катодом, який є позитивний електрод. ПЕМ - це органічна сполука, що має схожу консистенцію зі звичайною харчовою плівкою. Основною функцією ПЕМ є функція електроліта, який притягує позитивні протони, а не електрони. Це дає можливість паливному елементу проводити електрику. ПЕМ потрібно підтримувати у вологому стані, щоб дозволити протонам проводити через його поверхню.

Oxidation (Окислення). Усередині паливного елемента анод являє собою негативний електрод, де відбувається окислення. Окислення – це такий процес, коли електрони втрачаються з паливного елемента. Анод виготовляється з платини, що є досить дорогим матеріалом і укріплюється частинками вуглецю. Швидкість окислення збільшується за рахунок використання платини як каталізатора.

Водневе паливо здатне проходити через анод, оскільки анод пористий і водень, як дуже маленька частинка може проникати через ці пори в аноді. Іншими словами, окислення це процес всередині паливного елемента, коли електрони втрачаються через реакцію між водневим паливом і анодом.

Відновлення (Reduction). В катоді (позитивному електроді) відбувається обернений процес, і електрони проходять через процес, що називається відновлення (reduction). Подібно аноду, катод виготовлений також з платини і підтримується частинками вуглецю. Аналогічно платина є каталізатором, що підтримує процес (відновлення). Так як і для водню в аноді, кисень в катоді проходить через пористий катод.

Проточні пластини (розташовані навколо зовнішньої сторони ПЕМ, анода і катода) виконують кілька істотних функцій:

- Забезпечують проходження водню і кисню до електродів.
- Пересувають тепло і воду з паливних комірок.

- Забезпечують середовище (a means) для електродів, щоб бути проведеними з аноду в електричне коло, і потім з електричного кола знову до аноду.

В аноді водневе паливо (H) розділяється з використанням каталіста: негативно заряджені електрони розділяються від позитивно заряджених протонів. PEM дозволяє проходити позитивно зарядженим протонам через катод, але не пропускає негативно заряджені електрони. Електричний струм формується, коли ці негативно заряджені електрони течуть через PEM через зовнішній контур. (by the way on external circuit.

На стадії катонізації електрони, які є негативно заряджені, комбінуються з протонами, які є позитивно заряджені, і кисень утворює воду (H₂O) і тепло. Це є загальні викиди з FCVs.

2.2. Переваги і недоліки автомобілів на паливних комірках [9]

Переваги автомобілів на паливних комірках

Переваги	
Менше викидів парникових газів	Бензинові та дизельні транспортні засоби виділяють парникові гази, переважно вуглекислий газ (CO ₂), що сприяє глобальній зміні клімату. FCV, що працюють від чистого водню, не виділяють жодного викиду зі своєї вихлопної труби, лише тепло та воду. Виробництво водню для живлення FCV може генерувати викиди, залежно від способу виробництва, але набагато менше, ніж викиди звичайних бензинових та дизельних транспортних засобів.
Менше забруднення повітря	Транспортні засоби на традиційних паливах викидають значну частку забруднювачів повітря, які сприяють викидам і шкідливим твердим частинам у світі. FCV, що працюють на чистому водні, не викидають шкідливих забруднювачів. Якщо водень виробляється з викопного палива, виробляються деякі забруднювачі, але набагато менше, ніж кількість, що генерується звичайними викидами вихлопних труб транспортних засобів.
Зниження нафтової залежності	FCVs може зменшити нашу залежність від нафти, оскільки водень можна отримати з внутрішніх джерел, таких як природний газ і вугілля, а також відновлюваних ресурсів, таких як вода. Це зробило б нашу економіку менш залежною від інших країн і менш вразливою до цінових піків на нафту від все

більш і більш хижого нафтового ринку.

Недоліки автомобілів на паливних комірках

Недоліки	
Бортове зберігання водню	Деякі FCV зберігають достатньо водню, щоб проїхати до бензинових та дизельних транспортних засобів між заправками, це близько 300 миль. Однак системи зберігання все ще занадто великі, важкі і дорогі.
Вартість транспортного засобу	FCV в даний час занадто дорогі в комплекті з гібридами і звичайними бензиновими і дизельними автомобілями. Виробництво повинно знизити виробничі витрати, особливо вартість стека паливних елементів і зберігання водню.
Довговічність і надійність паливних елементів	Системи паливних елементів ще не такі довговічні, як двигуни внутрішнього згорання.

2. 3. Водень як паливо. Кольори водню за методами його видобування [11].

Водень є потенційним замінником викопних палив, який може відігравати важливу роль поряд з електрифікацією за допомогою акумуляторів та відновлюваними видами палива у створенні вуглецево-нейтральних суспільств завтрашнього дня. Водень є енергоносієм з якостями, які можуть допомогти зменшити викиди парникових газів. Однак, хоча акумуляторно-електричні транспортні засоби, машини та біопаливо можуть декарбонізувати транспорт вже сьогодні, великомасштабний водневий транспорт та інфраструктура -це перспектива на майбутнє.

Водень сам по собі є безбарвним газом, але існує близько дев'яти кольірних кодів для ідентифікації водню, включаючи зелений, жовтий, білий, чорний, коричневий, рожевий, бірюзовий, сірий і синій водень. Колірні коди водню показані на Рис. 2.1. Вони відносяться до джерела або процесу, який використовується для виробництва водню.

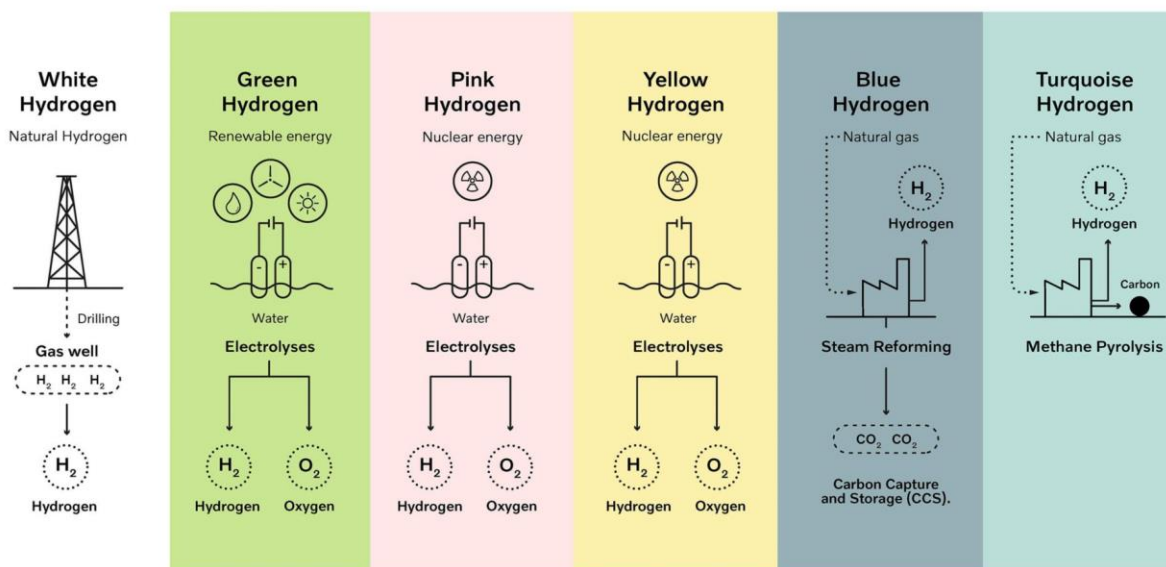


Рис. 2.1. Колірні коди водню

На рис. 2.1 показаний (зліва направо) білий водень, зелений водень, жовтий водень, голубий водень, бірюзовий водень.

Ініціативи Volvo Group щодо водню та паливних елементів.

Паливні елементи як концепція і використання водню в якості енергоносія не є чимось новим, але розвиток технології водневих паливних елементів, життєздатної для використання в комерційних транспортних системах і інфраструктурах, зараз прискорюється. Однак пройде ще декілька років, перш ніж він стане комерційно доступним. Паливні елементи для комерційних автомобілів та машин мають потенціал стати важливими для майбутнього транспорту та інфраструктури, де компанія VOLVO прагне прискорити розробку, виробництво та комерціалізацію рішень для водневих паливних елементів.

Колірні коди водню (Безліч кольорів водню)

Водень (H) - перший елемент в таблиці хімічних елементів. Це одночасно найлегша, і найпоширеніша речовина у Всесвіті. Він майже завжди зустрічається як частина іншої сполуки, такої як вода (H_2O) або метан (CH_4), і тому його потрібно розділити на чистий водень (H_2), перш ніж його можна буде повністю використовувати в чистому вигляді.

Водень не є фактичним джерелом енергії, а скоріше енергоносієм - дуже важлива відмінність, яку потрібно пам'ятати. Це означає, що водень потребує первинного джерела енергії для виробництва - наприклад, сонячної, вітрової, електричної, ядерної, біо-, або викопної енергії. Саме специфіка виробничого процесу та використовуваного джерела енергії визначають назву водню, тобто яким кольором водень буде позначатися, зеленим, синім, сірим чи іншим кольором.

Зелений водень (green hydrogen). Визначення терміна «зелений водень» двояке: (1) Зелений водень, отриманий шляхом електролізу з

використанням відновлюваних джерел енергії (2) Зелений водень як загальний термін. Зелений водень показаний на рис. 2.2.

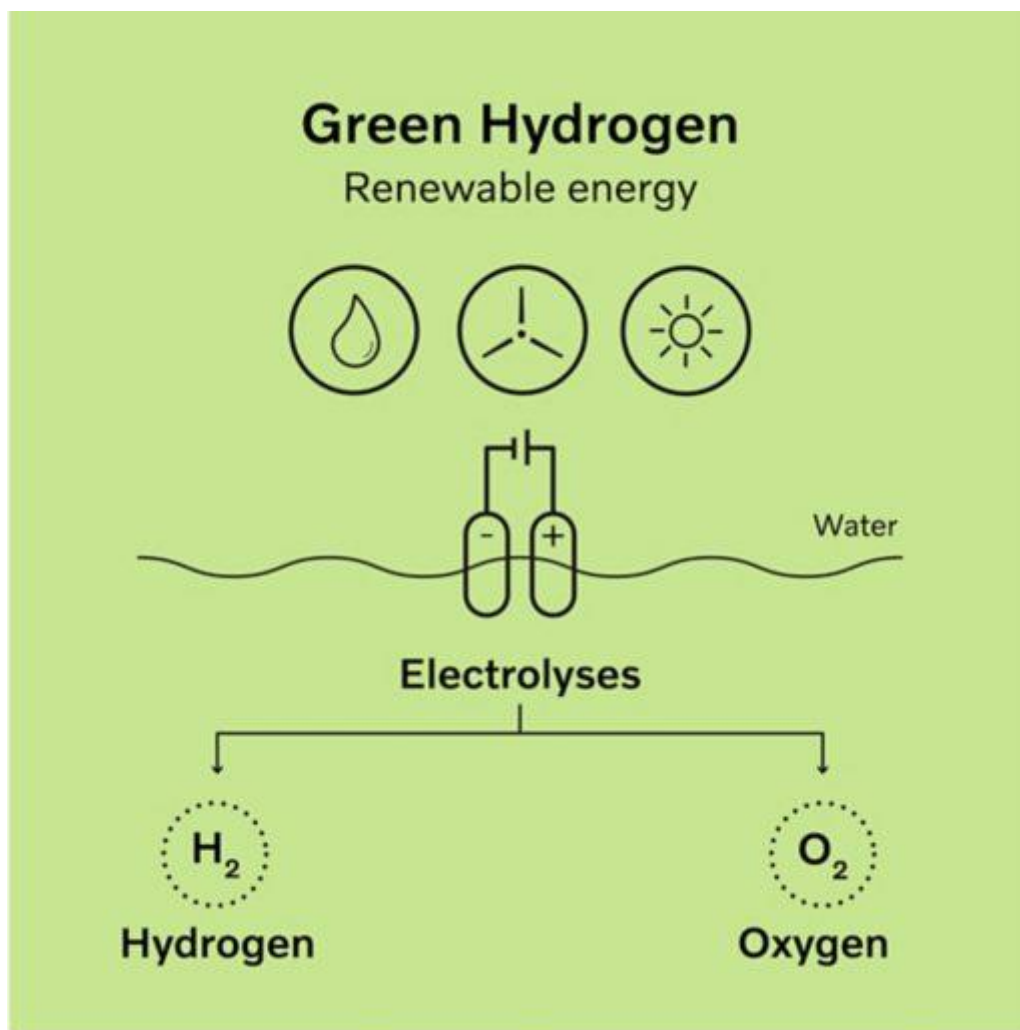


Рис. 2.2. Зелений водень

Білий водень (природний водень) . White hydrogen (Natural hydrogen). У природі водень найчастіше зустрічається в різних родовищах в газоподібному вигляді (H_2). Цей водень називається Білим воднем. Станом на сьогодні немає життєздатної стратегії використання та видобутку цього водню. Натомість, щоб використовувати силу водню, потрібно застосовувати різні процеси для його штучного створення, що і являють собою різні кольорні номінали. Випробувальне буріння триває, і наявні ресурси, швидше за все, зіграють важливу роль в майбутньому. На Рис. 2.3. показаний «Білий водень».

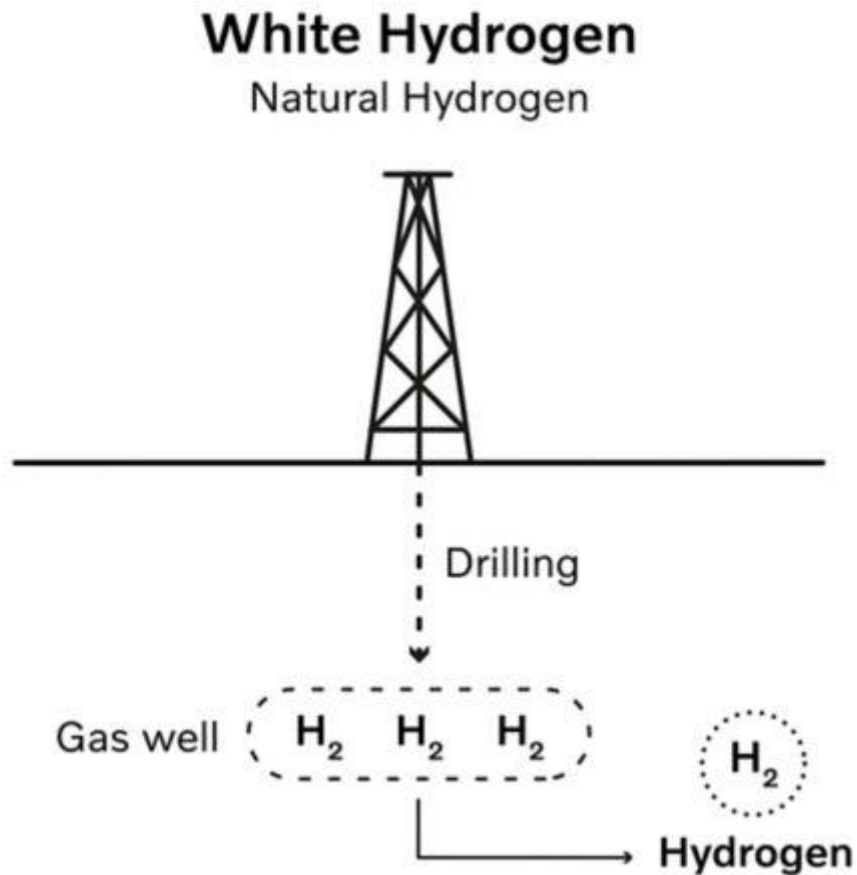


Рис. 2.3. Білий водень

Блакитний водень (Blue hydrogen). Блакитний водень виробляється так само, як сірий водень, але там, де надлишок CO_2 запобігає розсіюванню в атмосфері за допомогою уловлювання та зберігання вуглецю (CCS). Блакитний водень часто називають вуглецево-нейтральним джерелом енергії. З огляду на те, що ККД блоків CCS в даний час не становить 100%, більш доречним було б описувати його як низьковуглецеве джерело енергії.

На Рис. 2.4. показаний «Блакитний водень».

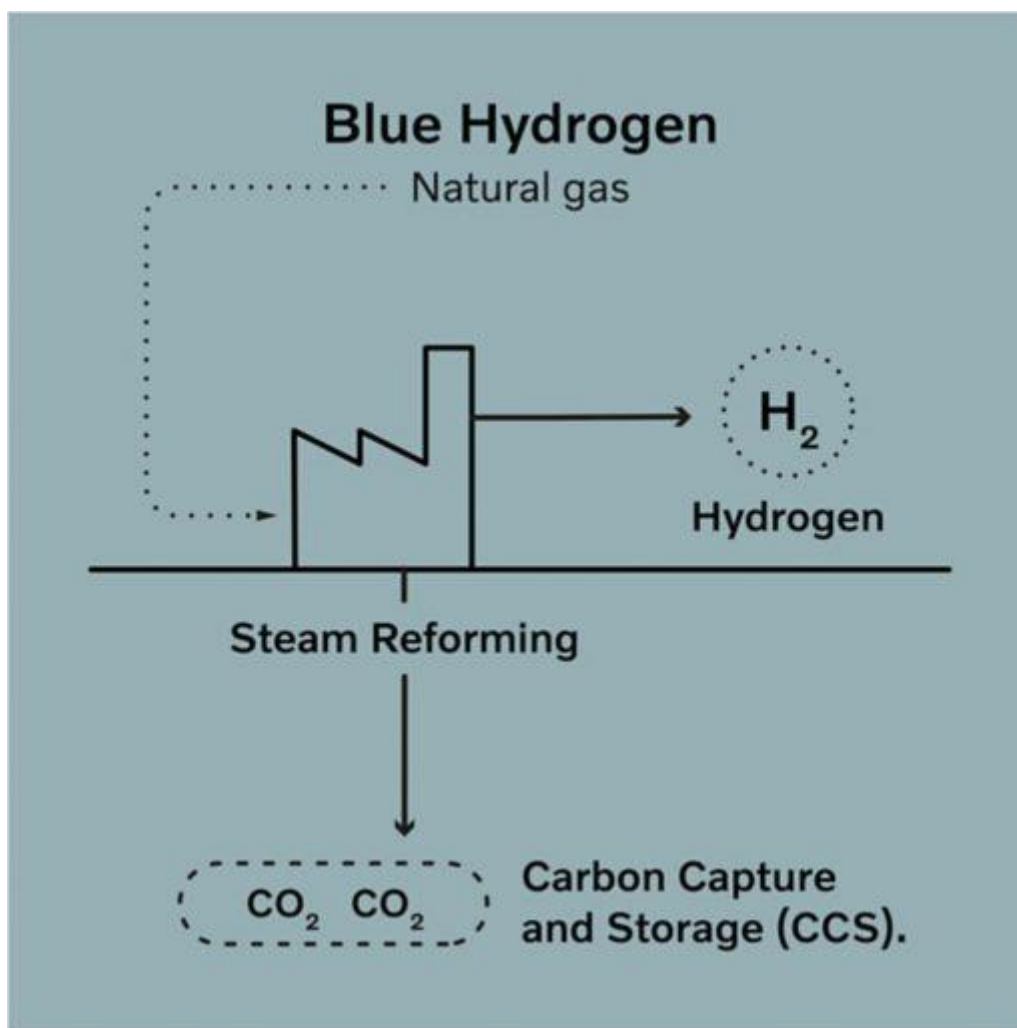


Рис. 2.4. Блакитний водень

Бірюзовий водень (Turquoise hydrogen). Цей тип водню, який виробляється за допомогою процесу піролізу метану. Бірюзовий водень - відносно новий спосіб отримання водню. Як і сірий і блакитний водень, він використовує метан у природному газі як вихідну сировину, але використовує електроенергію, а не викопне паливо для отримання тепла за допомогою методу піролізу, також відомого як розщеплення або розтріскування. Подібно до блакитного і сірого водню, вихід з бірюзового водню - водень і вуглець. На Рис. 2.5. показана схема виробництва Бірюзового водню.

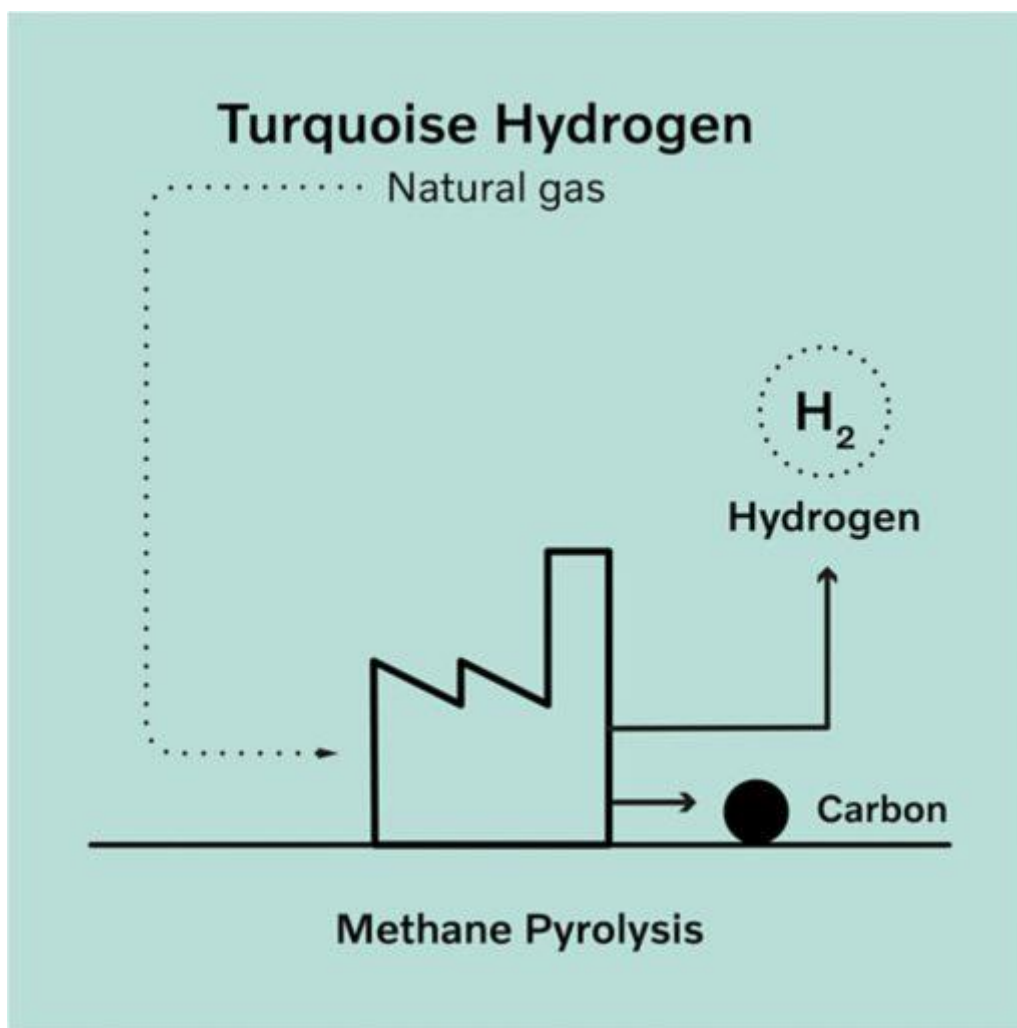


Рис. 2.5. Бірюзовий водень

Рожевий водень (Pink hydrogen) Рожевий водень часто відноситься до водню, який був отриманий в процесі електролізу води, що працює на атомній енергії. Це цікавий шлях для кількох країн, який приводить до виробництва чистого водню. Рожевий - це недавній номінал, що походить з Франції, куди раніше був включений водень на ядерній основі під назвою Жовтий водень.

Жовтий водень (Yellow hydrogen). Жовтий водень - один з найбільш заплутаних кодів кольорів водню. Він використовується часом для позначення водню, який отримується в процесі електролізу води, що живиться виключно сонячною енергетикою, в той час, інші вважають його електролізованим воднем, виготовленим з використанням енергії змішаних джерел (суміш електроенергії) - наприклад, сонячної, ядерної, біо-, викопної та інших. А в США термін «Жовтий водень» використовується тільки для водню з Біо.

Можна було б виділити зелений водень і вказати, що це дуже хороше рішення, але це ще не зовсім так. При використанні змішаних джерел

водень забруднюється скам'янілостями. Хоча кількість забруднень з часом скоротиться, жовтий водень не буде таким чистим, як блакитний водень, протягом тривалого часу, навіть не до 2050 року. На Рис. 2.6. показано схематично «Жовтий водень».

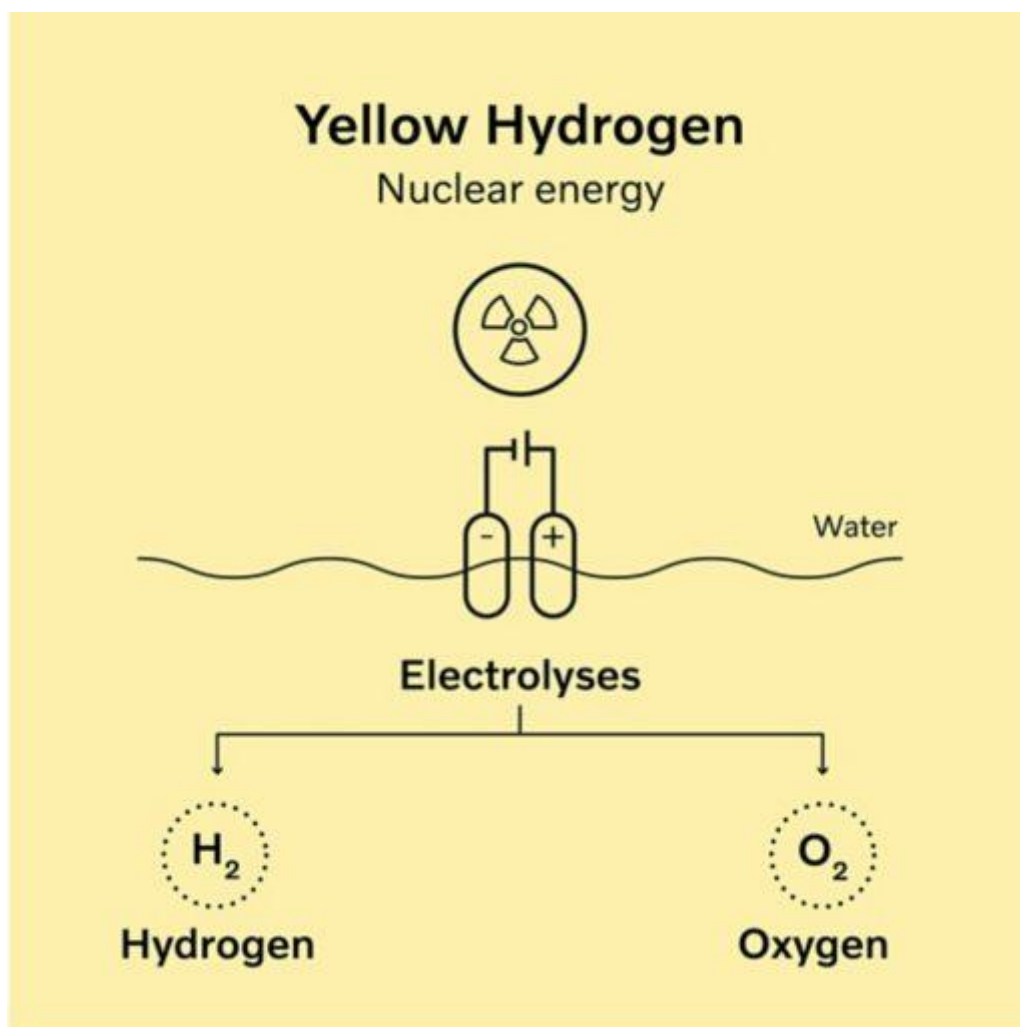


Рис. 2.6. Жовтий водень

Водень з викопних палив.

Бурий і чорний водень (вугільний водень). Brown and Black hydrogen (Coal hydrogen). Найдавнішим способом отримання водню є перетворення вугілля на водень. Це породжує те, що називається або коричневим, або чорним воднем. Водень називають або бурим, або чорним залежно від того, яке вугілля використовується: (1) Буре вугілля - > бурий водень; (2) Кам'яне вугілля -> Чорний водень.

Бурий і чорний водень створюються в результаті процесу газифікації вугілля, які перетворюють органічні або викопні матеріали в чадний газ (CO) і вуглекислий газ (CO₂) при дуже високих температурах, без горіння,

використовуючи контрольовану кількість кисню та /або пари. Чадний газ вступає в реакцію з водою з утворенням вуглекислого газу і водню. Потім водень відокремлюють від інших елементів за допомогою фільтрів або спеціальних мембран.

Виробництво коричневого і чорного водню є дуже забруднюючим процесом, оскільки як CO_2 , так і чадний газ не можуть бути використані повторно і викидаються в атмосферу. Це давній процес, який бере свій початок з 19 століття і історично відомий як «міський газ». На Рис. 2.7. показано водень, що виготовляється з викопних палив.

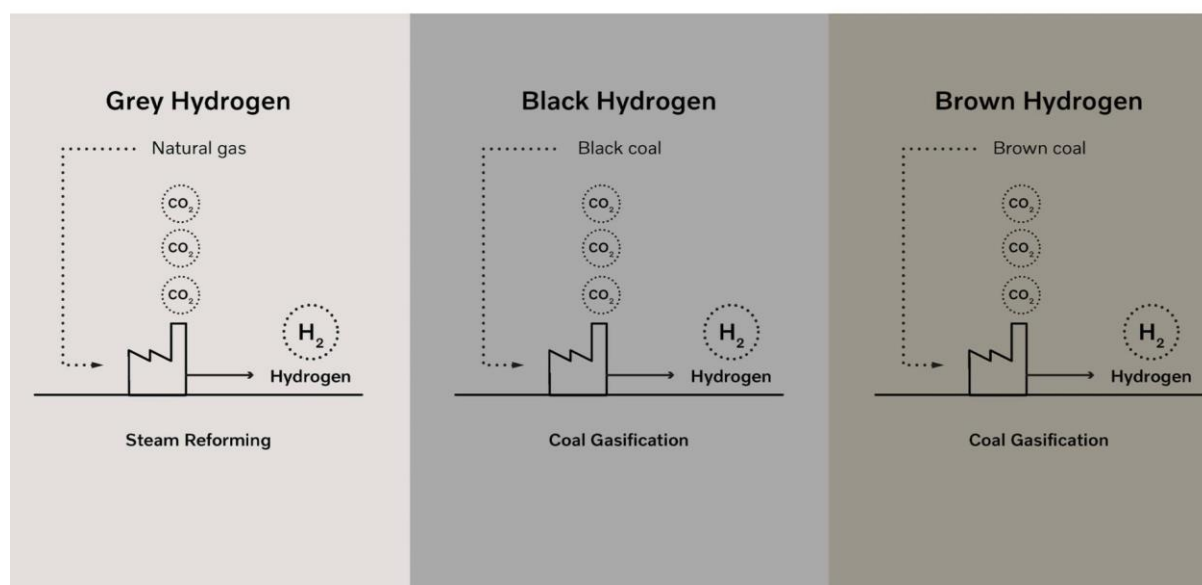


Рис. 2.7. Водень з викопних палив

Сірий водень (Grey hydrogen). Сірий водень - це водень, вироблений за допомогою SMR (Steam Methane Reforming, Паровий метановий риформінг), де надлишок CO_2 виділяється в атмосферу. На його частку припадає велика частина виробництва водню сьогодні. При виробництві Сірого водню виділяється від 9 кг до 12 кг CO_2 на 1 кг виробництва водню, в порівнянні з блакитним воднем, який виділяє 0,5-4 кг, і зеленим воднем, який по суті не містить викидів. Виробництво сірого, коричневого та чорного водню схематично показано на Рис. 2.8 -2.10, відповідно.

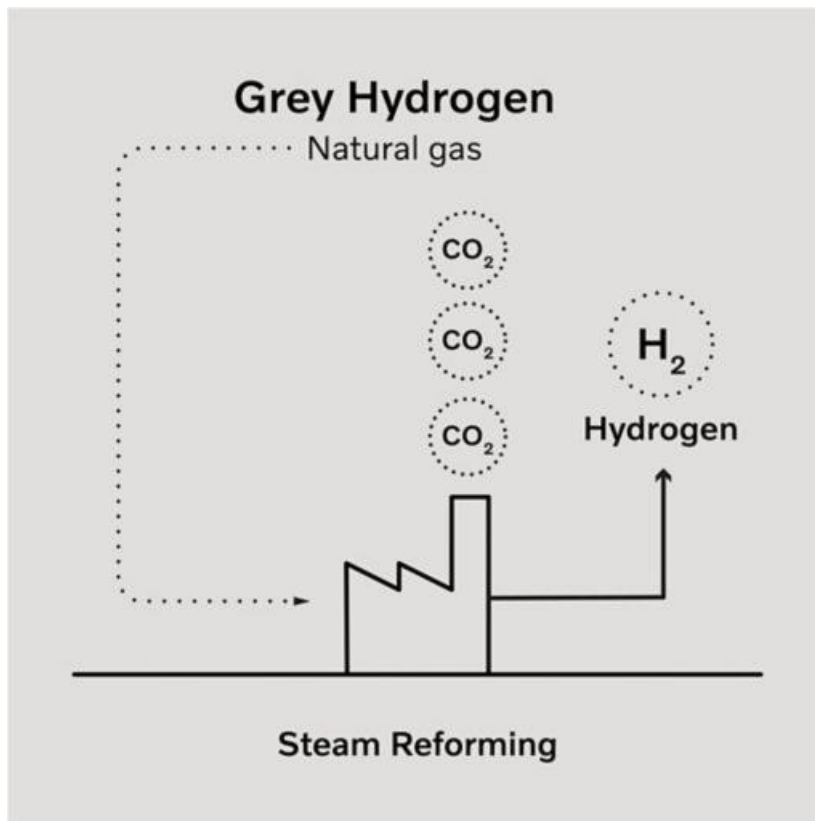


Рис. 2.8. Сірий водень

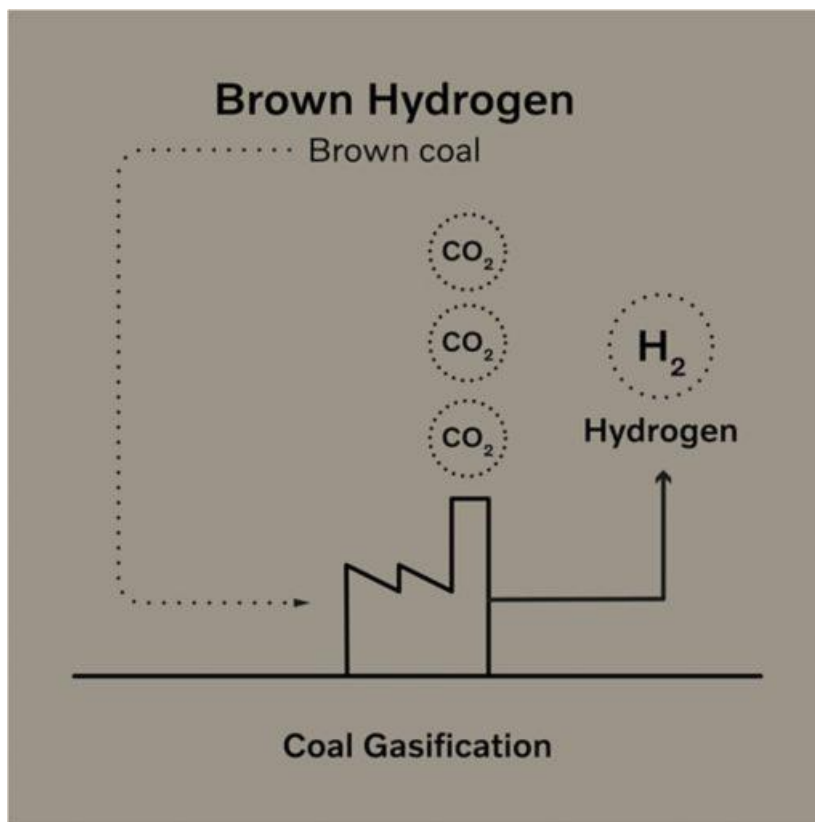


Рис. 2.9. Коричневий водень

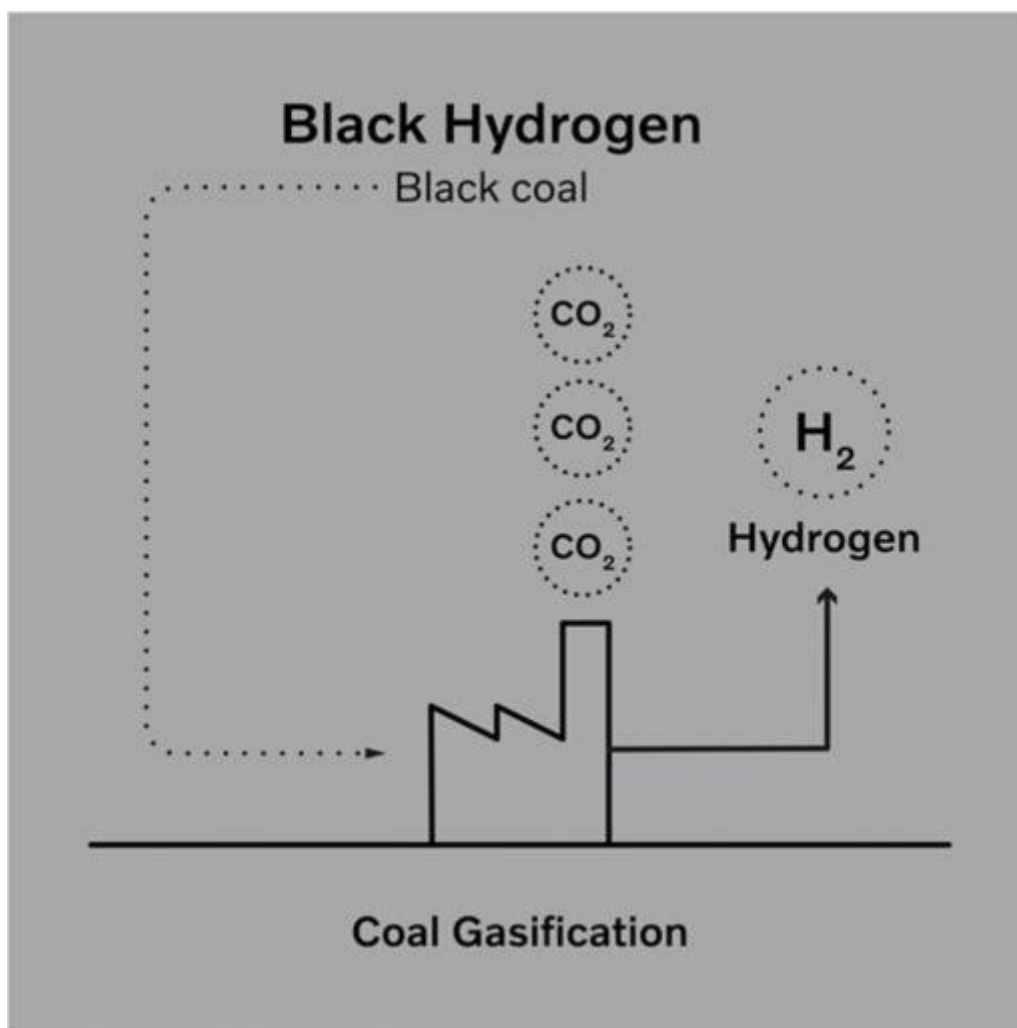


Рис. 2.10. Чорний водень

2.5. Способи отримання водню [11]

Для отримання водню його необхідно відокремити від інших елементів в молекулах, де він зустрічається. Існує багато різних джерел водню і способів його отримання для використання в якості палива. Два найбільш поширених способи виробництва - паро-метановий риформінг і електроліз, але вчені також займаються дослідженнями інших методів виробництва водню

Електроліз води. Електроліз води - це процес використання електрики для розщеплення води на кисень і водень (водневий газ), проводячи постійний електричний струм для того щоб викликати хімічну реакцію. Це найбільш результативний шлях для досягнення вуглецево-нейтрального виробництва водню, а значить і встановлення водневої економіки з максимальною кліматичною вигодою.

Риформінг парового метану. Риформінг парового метану - це процес, при якому метан з природного газу або інших джерел метану (наприклад, біогазу або звалищного газу) нагрівається (за допомогою пари) в присутності каталізатора для отримання сингазу (водню, чадного газу і

невеликої кількості карбондиоксиду). На сьогоднішній день реформінг парового метану є найпоширенішою технологією отримання водню з природного газу в великих масштабах.

Газифікація вугілля та інших вуглеводнів. При частковому окисленні (POX), також відомому просто як "газифікація", водень виробляється з цілого ряду вуглеводневих видів палива, включаючи вугілля, важкі залишкові масла та інші продукти нафтопереробного заводу з низькою вартістю. Вугілля або вуглеводень вступають в реакцію з киснем в меншому відношенні, ніж стоїхіометричне співвідношення, в результаті чого виходять чадний газ і водень при дуже високих температурах (від 1200 до 1350°C).

Біологічний водень. Водень, що утворюється за допомогою дії живих організмів, має назву біологічний водень, або «біогідрогеном». Біогідроген виробляється за допомогою мікроорганізмів (таких як ціанобактерії) і сонячного світла шляхом перетворення води, а іноді і органіки, в водень. Перевага цих способів отримання водню полягає в тому, що вони не призводять до будь-яких прямих викидів парникових газів. Станом на сьогодні, біологічні процеси виробництва водню все ще знаходяться на ранній стадії лабораторних експериментів, але дослідники намагаються зрозуміти, повторити та оптимізувати цей процес, для того щоб, індустріалізувати його в майбутньому

Зберігання водню у сотах. Проблеми використання водню в автомобільному транспорті дуже тісно пов'язані з його зберіганням. Проблема зберігання водню на сьогоднішній день ще не до кінця вирішена і провідні вчені світу працюють над цією проблемою. Так, вчені з Харкова створили новий тривимірний матеріал на основі вуглецю, який може створити сенсацію в світі водневих автомобілів і електроніки майбутнього. Вчені з Харкова створили новий тривимірний матеріал на основі вуглецю, який може створити сенсацію в світі водневих автомобілів і електроніки майбутнього. Українські водневі соти показані на Рис. 2.11.

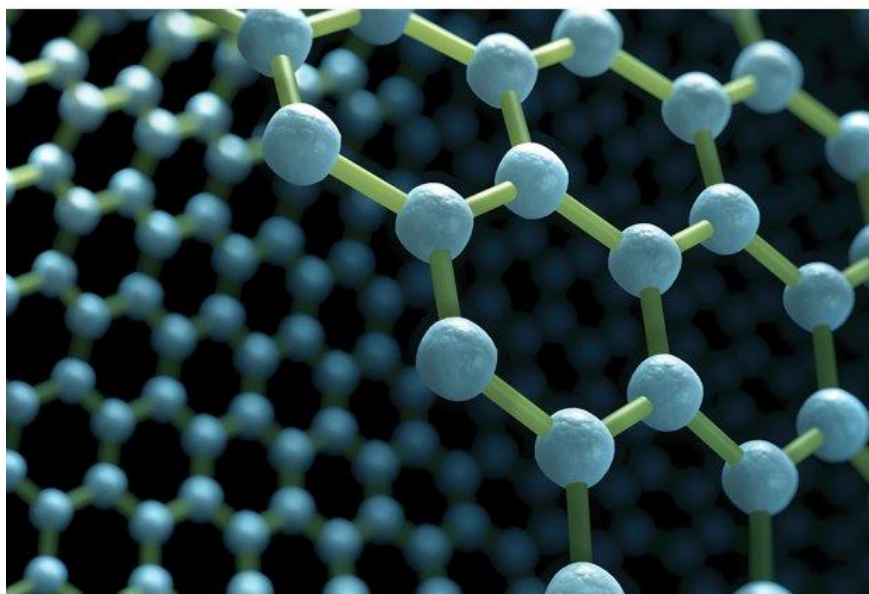


Рис. 2.11. Водневі соти

Як повідомив один з найпрестижніших в світі журналів з фізики *Physical Review Letters*, харківські вчені Ніна Крайнюкова з Фізико-технічного інституту низьких температур НАН України і Євген Зубарєв з Фізико-технічного факультету Харківського Університету ХПІ відкрили і протестували нову модифікацію вуглецевого волокна. Вони охрестили її "вуглецеві соти". Це пояснює завідувач лабораторією Інституту теоретичної фізики ім. Боголюбова Сергій Шарапов. "Здорово, що вчені донесли свої результати до всього світу. Далі тільки час може показати, чи піде технологія у промисловість". В українських сотах можна зберігати не тільки мед ... але і водень.

На жаль, в енергетичному огляді за 2021 рік [10] не показано досягнень України у водневих технологіях.

2.6. Енергетична політика та міжсекторальна співпраця.

Багато країн світу зараз мають амбітні водневі стратегії, а водень відіграє важливу роль у Зеленому курсі ЄС. Європейські країни показують зацікавленість у водневих технологіях і вони готові брати участь у міжсекторному використанні водню, галузі активно шукають потенційну синергію, наприклад, використанням водню вантажівками та будівельним обладнанням.

Однак існує необхідність у сертифікаті походження водню. Це робиться для того, щоб мати можливість простежити, що був використаний екологічно чистий водень і тим самим призвів до утворення низьких викидів. Це все можна використовувати як основу для рівня оподаткування. Наприклад, компанія Volvo відмічає, що вона бажає мати декларацію CO₂ про водень, а не буде цікавитися кольорами водню.

Розвиток інфраструктури для підтримки енергетичного

переходу. Національні та місцеві органи влади, галузь та інвестори повинні об'єднатися для розвитку необхідної інфраструктури для підтримки енергетичного переходу на Зелений водень та також, щоб зробити його комерційно життєздатним. Є кілька перешкод, які потрібно подолати, наприклад, відсутність інфраструктури та ціни на водень для кінцевих споживачів. Найбільша проблема на сьогоднішній день полягає в тому, що нових користувачів ще немає. Є величезна готовність інвестувати, але не без впевненості клієнтів. Вантажівки розглядаються як практичний рівень, на якому слід потренуватися, перш ніж йти дійсно великими масштабами.

Уряди та галузі повинні працювати разом. Уряди та галузі повинні працювати разом, щоб гарантувати, що як існуючі, так і нові правила не перешкоджатимуть інвестиціям у зелений водень. Торгівля воднем виграє від загального міжнародного стандарту як для транспортування, так і для зберігання великих партій, а також для відстеження впливу на навколишнє середовище різних поставок водню. На Рис. 2.12 показана заправна станція на водні – паливі майбутнього.

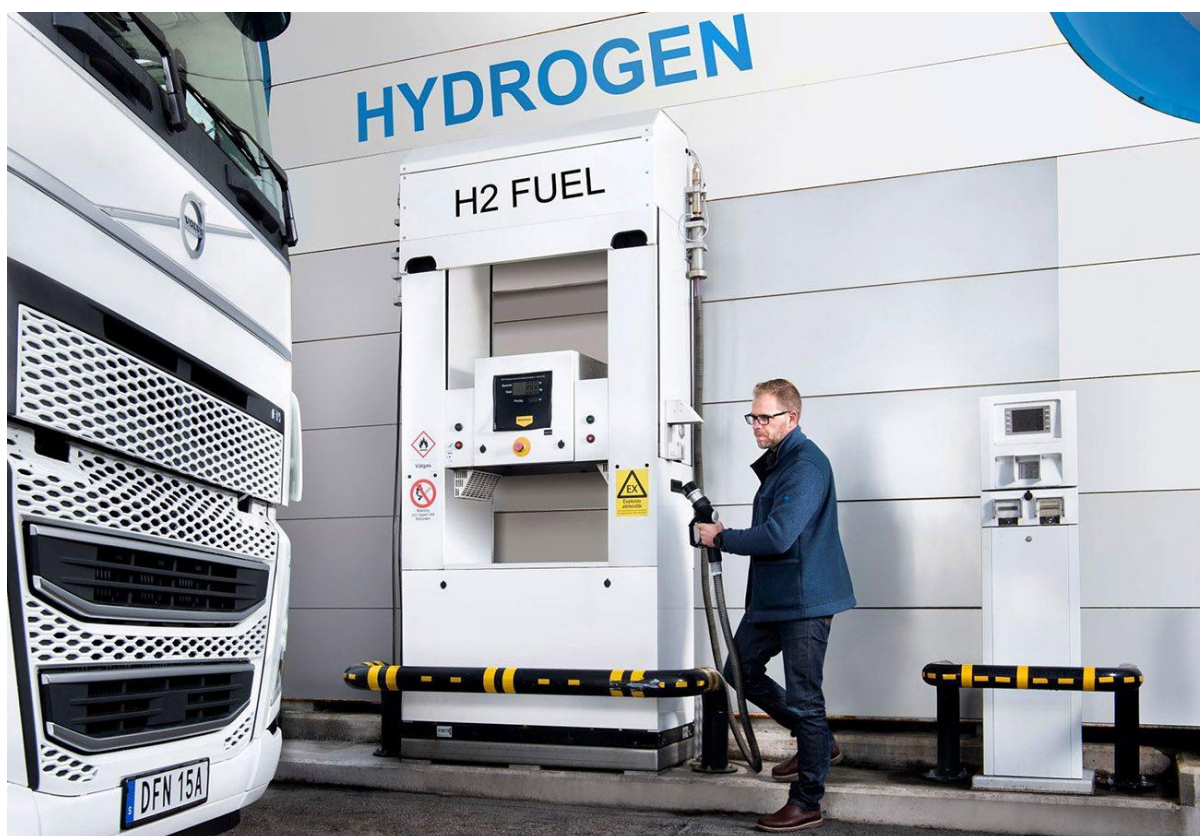


Рис. 2.12. Водень (H₂) – паливо майбутнього [3]

6.7. Розвиток паливно- комірчаних технологій [адаптовано з 12]

Згідно статистики, яку підготувала компанія E4Tech, паливні комірки дають потужність понад 2,3 ГВт у 2021 році. Загальна кількість одиниць також зросла – на 4 000 у порівнянні з 2019 роком, і становить майже 86 000. Однак в основних компаніях – Hyundai і Toyota домінують на стороні потужності, а Ene-Farm - в агрегатах, хоча портативна потужність показала підйом. Паливні елементи ПЕМ для всіх мобільних застосувань становлять 86% МВт – навіть більше, ніж у 2020 році.

Компанія Huzon працює в напрямку стрімкого зростання випуску вантажних автомобілів, регулярно оголошуючи про фінансування, партнерство та ранні поставки. Все більше вантажівок Hyundai FC курсують по Швейцарії, регулярно і вчасно доставляючи вантаж, а кількість вантажівок в цілому в Європі зросла майже вдвічі, а також значно збільшилася кількість транспортних засобів (ТЗ) в Китаї. Cellcentric і Toyota продовжують свої шляхи розвитку в цьому секторі, і компанія Нікола (Nicola), яка мала труднощі пережила просувається вперед разом Iveco. Майже всі великі виробники вантажівок в Європі зараз закликали до створення мережі з близько 300 високоефективних HRS до 2025 року, планується збільшення кількості біля 1,000 до 2030 року.

Помітним дисидентом по відношенню до паливних комірок є Scania, яка зараз, здається, встановила свій шлях на відновлюваних видах палива та акумуляторних електромобілях. Глобальні поставки автобусів FC дещо знизилися в 2021 році, приблизно до 1,100 одиниць, з падінням китайського попиту; у Європі спостерігалось подвоєння приблизно до 220.

Використання водню на залізниці знаходиться на повільному і стабільному шляху зростання, при цьому компанії Alstom і Siemens ще більше закріпилися з компаніями Cummins and Ballard відповідно, а провідні компанії з Індії до Північної Америки вивчають цей варіант. До кінця 2022 року в усьому світі очікується близько 50 потягів, і ще більше потягів вже замовлені. Активність використання паливних елементів також зростає в судноплавстві, з Doosan (з використанням технології Ceres), Prototech / Clara (стеки Sunfire), TECO 2030 (паливні елементи AVL) і Topsøe. Більші системи SOFC і PEM зараз активно досліджуються на предмет силових установок. Огошення від Airbus з Елрингом Клінгером, PowerCell, ZeroAvia і Універсальним воднем (з plug Power) є лише частиною поточної діяльності, причому регіональні рейси є початковою метою. Компанія Plug продовжує свою місію «тотальної системи» – зараз вона є найбільшим світовим постачальником і користувачем рідкого водню, її участь у авіаційному транспорті є однією з

багатьох, які вона має на всьому транспорті, і вона прагне розширити можливості виробництва водню від придбання Giner.

Продовжують також з'являтися водневі дорожні карти, а також зростають амбіції компаній. Наприклад, компанія Plug має намір бути одним з багатьох постачальників обладнання на ринок, що розвивається, і, ймовірно, також виробленого водню. Вони є одними з небагатьох компаній, які виробляють як паливні елементи, так і електролізери. Cummins є довгостроковим «гравцем» в цих обох напрямках; Sunfire також.

Компанія Bloom випускає паливні комірки типу SOEC, а також SOFC, а інші компанії SOFC, такі як Ceres і SOLIDpower, мають подібні розробки, що зараз продовжуються. Навіть такі стартапи, як Bramble, тепер націлені на цей напрямок. Цей набір кількох цільових ринків і навіть бізнес-моделей частково відображає попередні дні паливно-комірчаної галузі з використанням водню, коли компанія Ballard (Баллард), охоплювала всі напрямки розвитку, від портативної енергії до морської та інших стаціонарних транспортних напрямків.

Легкові автомобілі (Hyundai та Toyota). В 2021 році у світі спостерігалася найбільша кількість поставок легкових автомобілів на паливних елементах на сьогоднішній день, при цьому світові продажі перевищили 15 800 автомобілів – майже вдвічі більше 2020 року. Тож не дивно, що більшість поставок надійшло від Hyundai NEXO і нового Mirai від Toyota. Поставки перших зросли понад 9 300 одиниць у 2021 році, переважно в Південній Кореї, тоді як другі були добре прийняті в Японії та за кордоном. Обидва транспортні засоби також знаходяться в боротьбі за рекордами дальності поїздок. У квітні 2021 року NEXO подолав найдовшу тоді відстань, 887,5 км (551 миль) на водневому автомобілі на одному баку, але через кілька місяців новий Mirai встановив новий світовий рекорд Гіннеса з безпрецедентними 1 360 км (845 миль) – втричі і більше дальністю автомобіля на батареях. Це, можливо, поклато тиск на Hyundai, яка оголосила про плани значно збільшити асортимент свого NEXO наступного покоління, очікуваного до 2023 року.

Кількість автомобілів на паливних елементах у Європі зростає, хоча темпи зростання не дуже великі. Близько 1,000 легкових автомобілів на паливних елементах були відправлені до Європи з Японії в 2021 році, в основному Mirai, з трохи більше 300 NEXO. Найпоширенішим видом ТЗ на паливних комірках є таксі, які повільно нарощуються у великих містах по всій Європі. 100+ таксі Mirai тепер працюють у Копенгагені,

підтримуючи мету міста щодо нульового таксі до 2030 року. Осло має схожі плани. У Парижі оператор мобільності H2 Нуре (з Total як 20% акціонером) передбачає 10 000 таксі до Олімпіади 2024 року. Мадрид хоче замінити щонайменше 1 000 таксі внутрішнього згоряння на Toyota Mirai до 2026 року.

Розвиток автобусів з ресурсозберігаючими технологіями. На COP26 13 урядів по всьому світу взяли на себе зобов'язання, щоб усі нові середні та важкі ТЗ з 2040 року були з нульовими викидами, з 30% - як проміжна ціль до 2030 року. Автобуси належать до цих категорій, і хоча деякі країни та міста/регіони мають більш амбітні цільові дати, визнаючи екологічні та соціальні імперативи чистого транспорту, майбутнє - невимовно в нульових викидах. Електричні автобуси на паливних елементах (FCEBs), що працюють на зеленому H₂, є одним з небагатьох варіантів нульового викиду, доступних в даний час. Нинішнє покоління FCEB, що постачається по всьому світу, перевершує майже у всіх відношеннях ті, що були десять років тому. Дійсно, FCEBs (буквально) пройшли довгий шлях за десять років: вдосконаливши технологію; потім демонструючи хоча б рівні експлуатаційні показники; тепер прагнуть стати економічно конкурентоспроможними з дизельним паливом. FCEBs поступово розглядаються компаніями та урядами як рішення для нульових викидів, яке знаходиться на порозі життєздатності, з внутрішньою швидкою заправкою та великою дальністю дії порівняно з чистими акумуляторними електробусами. Близько 150 автобусів на паливних елементах, відправлених в Європу в період 2012-2015 років, залишаються в експлуатації.

В період 2015-2020 рр. в Китаї працює понад 3 700 автобусів. Отже, так, як і вантажівки, в паливно-комірчаному напрямку домінує Китай. Але є плани досягти понад 1,200 автобусів у Європі до 2025 року (більше в Китаї), а 2021 рік став роком бампера для Європи, коли на континент було відправлено понад 200 нових автобусів на паливних елементах (і 158 реєстрацій). Але це порівнюється з поставками 3282 повністю електричних автобусів у 2021 році, при цьому понад 8 500 повністю електричних автобусів зареєстровані на континенті з 2012 року.

Компанія Solaris продемонструвала свій 12-метровий водневий автобус Urbino у м. Франкфурті, та м. Конін у Польщі з місцевим оператором MZK, у чеському місті Ústí nad Labem для оператора Dopravní, у місті Віллах в Австрії та для ÖBB Postbus, а також у місті Нойенштадт-на-Кохер, у Німеччині. Solaris також відправив свої FCEBs до Кельна та

Вупперталя в Німеччині, до Больцано в Італії та до Гельдерланда в Нідерландах, і все це як частина JIVE. Новими OEM-виробниками, які виходять на європейський ринок, є угорська GOLDI Mobility, яка співпрацює з Hy-Hybrid Energy над розробкою свого автобуса H12; Італійський Rampini, який запустив свій E80 гібридизований 8-метровий автобус, з яких Cittavecchia замовив два; і британський ADL, який має замовлення на 20 одиниць для свого двоповерхового літака з дальністю 300 миль, Enviro400FCEV, для Ліверпуля (безпосередньо купується через регіональний Фонд міст, що трансформуються). Крім того, Hyundai продемонстрував свій автобус ELEC CITY з паливними елементами довжиною 500 км (311 миль) у Відні та Мюнхені.

На жаль, в енергетичному огляді за 2021 рік [10] не показано досягнень України у виробництві автобусів на паливних комірках, хоча відомо, що такі автобуси мали представлятися на виставці в Києві в жовтні 2021. В огляді вказано що, Московія розглядає паливні елементи як рішення ZEV, оскільки Москва вирішила, що більше не купуватиме дизельні автобуси. Одним з рішень є нещодавно представлений КАМАЗ 6290 FCEV, який буде тестуватися з 2022 року. Останній факт не перевірений і потребує підтвердження.

Більшість перетворювачів (converters) шасі OEM зосереджені на вантажівках з електричними та паливними елементами. Але Pepper motion GmbH, раніше e-troFit, планує переобладнання автобусів на силові агрегати на паливних елементах з 2024 року. Значна увага зосереджена на автобусах Mercedes-Benz Citaro C1, 12 м та Citaro C2, 12 м, з MAN A21.

Нещодавними OEM-виробниками, які виходять на європейський ринок, стала угорська компанія GOLDI Mobility, яка співпрацює з Hy-Hybrid Energy над розробкою свого автобуса H12; Італійський Rampini, який запустив свій E80 гібридизований 8-метровий автобус, з яких Cittavecchia замовив два; і британський ADL, який має замовлення на 20 одиниць для свого двоповерхового літака з дальністю 300 миль, Enviro400FCEV, для Ліверпуля (безпосередньо купується через регіональний Фонд міст (Transforming Cities Fund)). Крім того, компанія Hyundai продемонструвала свій автобус ELEC CITY з паливними елементами з пробігом 500 км (311 миль) у Відні та Мюнхені.

Transdev Normandie проводить модернізацію дизельного автобуса Iveco Crossway з IBF H2 на базі Ам'єна, (Amiens), маючи на меті розробити комплекти модернізації, які можуть продовжити середній термін служби автобусів з 14 років до 20-25 років. Німецький фахівець з силових

агрегатів IAV надасть досвід у галузі безпеки систем та електронних інтерфейсів. Після завершення, Nomad Car Hydrogène матиме запас ходу 450 км на одному заправці та покриє 380 км/день на маршруті Evreux-Rouen Express.

Сьогодні на модернізацію міжміського автобуса в майстернях IBF H2 (за винятком омолодації) потрібно близько трьох місяців. Очікуваний короткостроковий термін складе 10 транспортних засобів на місяць. Для підтримки проекту буде встановлено HRS. Очікується, що станція EAS HyMob du Vieil-Evreux матиме продуктивність 50 кг/добу. Модуль паливних елементів за вибором залишається модулем Ballard, останнім, восьмим поколінням є FCmove-HD+. Повідомляється, що цей модуль на 40% компактніший за попередній модуль потужністю 100 кВт, на 30% легший і з на 50% з меншою кількістю деталей, зі збільшенням терміну служби до 40%. Але оскільки більше OEM-виробників шукають системи живлення на паливних елементах, з'являються зростаючі можливості для інших: Toyota постачає Caetano зі своїм модулем на базі Mirai (при цьому Toyota робить стратегічні інвестиції в CaetanoBus, в грудні 2020 року), Safta використовує модулі Symbio, а ElringKlinger працює з VDL, незалежно разом з Ballard, надаючи модулі для проекту CoacHyfied.

Висновки.

1. Розглянуто переваги і недоліки автомобілів на паливних комірках (елементах) з використанням водню.
2. Розглянуто різні типи водню в залежності від способу виробництва.
3. Показано ведучі світові автомобільні і енергетичні компанії, які займаються виробництвом автоомбілів з паливними комірками на водні і також обладнання для цих ТЗ.

Розділ 3. Гібридні автомобілі та автомобілі на сонячних батареях.

3.1. Гібридні автомобілі.

Одним з найперших гібридних установок для автомобілів було поєднання двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) і електродвигуна фірми Porsche, наприклад Lochner- Porsche Mixtewagen, 1898 р. ([13], стор. 233).

Наш час ознаменувався швидким розвитком технології гібридних силових установок як ефективного засобу зниження споживання рідкого вуглеводневого палива та забруднення навколишнього середовища. За останні десятиліття їх впровадження стало головним напрямком технічного прогресу світової автоконструкції та призвело до створення принципово нових конструкцій автомобілів з гібридними (комбінованими) та електричними силовими установками (ГСУ та ЕСУ), у тому числі з ГСУ на водневих паливних елементах. Фундаментальна їх відмінність від класичних установок з одиночним ДВЗ - наявність джерела електричної енергії як основного (в ЕСУ) або додаткового. В ГСУ джерелом енергії є ДВЗ, електричні генератори, хімічні джерела струму та/або суперконденсатори, в ЕСУ - акумуляторні батареї та/або 5 суперконденсатори, у водневих ГСУ - батарея паливних елементів із джерелом водню. Також у всіх ГСУ та ЕСУ є електричний пристрій рекуперації енергії гальмування. Таким чином, електропривод на сучасному етапі науково-технічного прогресу став спільним ключовим компонентом новітніх технологій в області транспорту, які можна коротко позначити як електричні, гібридні та водневі. В сутності, мова йде про нову глобальну технологію отримання на борт автомобіля механічної енергії для його руху. Отже, гібридні автомобілі використовують переваги як від ДВЗ так і від електросилової установки.

Можна виділити два основні види комбінованих електроприводів [13]:

з паралельною схемою: на автомобілі електричний двигун приводить в рух колеса під час переміщення з визначеною швидкістю, тоді як ДВЗ функціонує лише при старті і розігнанні (розгоні);

з послідовною схемою: ДВЗ обертає вал генератора, що виробляє електричний струм, який живить електродвигун, а від нього вже крутний момент передається колесам автомобіля.

За *паралельного сполучення* можуть бути два варіанти: коли ДВЗ та електродвигун сполучені між собою до коробки передач, або електродвигун переданий до і після коробки передач.

У разі *послідовного сполучення* джерел енергії ДВЗ механічно сполучений з трансмісією транспортного засобу, його робота з

оптимальними значеннями к.к.д. та прийнятної токсичності ВГ можлива лише за усталеної частоти обертання. Недоліком такої схеми є необхідність багаторазового перетворення енергії. З урахуванням к.к.д. акумуляторної батареї, механічний к.к.д. при передаванні потужності від двигуна до ведучої осі ТЗ дещо більший 55%.

В табл. 3.1 показано порівняння різних схем поєднання джерел енергії за витратою палива [13].

Таблиця 3.1.

Витрата палива різними типами гібридних силових установок [13]

Показник	ГСУ послідовна	ГСУ паралельна а	ГСУ змішана	Серійний автомобіль
Витрата палива в міському циклі, л/100 км	9.2	8.4	8.2	17.4

Гібридний автомобіль Toyota Prius. Значну частину ринку гібридних автомобілів складають автомобілі «Prius» компанії Toyota. В цьому автомобілі поєднано електродвигун і бензиновий ДВЗ. Режими функціонування гібридної установки можна знайти в ([13], с.236). Toyota Prius має потужність двигуна 45 Квт (60 кс), робочий об'єм – 1.5 л, максимальну швидкість - 160 км/год, витрату палива за міським циклом – 3.6 л/км.

Акумуляторна батарея цього гібридного автомобілю - нікель-металогідрідна і складається з 240 елементів. В двигуні реалізовано цикл Міллера (впускний клапан закривається з запізненням) тому ступінь розширення більший за ступінь стискання. Такт розширення газоподібних продуктів згорання і такт стискання встановлюється незалежно і це збільшує к.к.д. Отже, можливе застосування невеликих за об'ємом камер згорання з швидким поширенням фронту полум'я. Двигун оснащений системою впорскування безпосередньо у циліндр, тут також використовується інтелектуальне регулювання фаз газорозподілу. Частота обертання двигуна 4000 об/хв.

Гібридний автомобіль Mercedes Benz C 350 e. Технічна характеристика автомобілю приведена в [14]:

- Передачі: 7, Циліндри: 4, Тип передачі: Автоматична,
- Літраж двигуна: 1.991 см³
- Власна маса: 2.385 кг, Викиди CO₂: 53 г / км (комб.),
- Інші енергоносії: електрика, Витрата пального: 2,1 л/100 км (комб.), Витрата електроенергії: 0 кВт/100 км (комб.)

- Паливо: Супер E10 95, Екологічний клас: Євро 6

Автомобілі Мерседес С-класу є Plug-in Hybrid можна використовувати у наступних режимах: HYBRID, e-MODE, E- save, Charge [15].

1) **HYBRID**

- Можна використовувати як електричний режим роботи так і з ДВЗ
- Автоматичний вибір режиму вождіння з електричним режимом наскільки часто як це можливо
- Високовольтна батарея заряджається (discharging) приблизно на 12%

2) **e-MODE,**

- Можна використовувати тільки електричний режим роботи
- Вихідна електрична потужність відведена за допомогою тактильної педалі акселератора (Electric power output allotted using the haptic accelerator pedal)
- Активація роботи ДВЗ з використанням тактильної педалі акселератора

3) **E- save**

- Можна використовувати як електричний режим роботи так і з ДВЗ
- Автоматичний вибір режиму вождіння з електричним режимом наскільки часто як це можливо
- Поточний зарядний статутс високо-вольтної батареї підтримується, отже електрична енергія може бути використана пізніше

4) **Charge**

- Електричний режим роботи неможливий (Electric operation mode is not possible)
- Високовольтна батарея заряджається під час руху з двигуном внутрішнього згоряння (The high voltage battery is charging while driving with the combustion engine).

В автоматичній програмі S і під час ручного переключення коробки передач (gearshifting) доступний тільки режим *Hybrid*. Якщо переключити з автоматичного режиму водіння S на E, режим Hybrid буде все ще вибраним [15].

Тактильна педаль акселератора (Haptic accelerator pedal) допомагає зменшити витрату палива і викиди з ТЗ. Для цих цілей використовуються дві наступні функції [15]:

- додатковий тиск (pressure point) в режимі E-mode
- подвійний імпульс (double pulse) в програмі водіння E.

Для збереження палива компанія *Mercedes* рекомендує наступне [16].

- В шинах автомобілю завжди має бути рекомендований тиск.
- При повному навантаженні передні шини 270 кПа-, задні 330 кПа.
- Прибрати непотрібне навантаження
- Прибрати багажник на даху автомобіля, якщо він не потрібний
- Нагріти двигун на низькій швидкості двигуна
- Обмежити часту зміну прискорення або тормозіння
- Проводити всі експлуатаційні роботи згідно рекомендацій компанії

Так, для автомобілю *Mercedes Benz C 350e* рекомендується тиск в передніх шинах -250 кПа (36 psi), в задніх - 270 кПа (39 psi). Витрата палива також збільшується за прохолодної погоди, при русі з багатьма зупинками, на коротких відстанях, а також коли автомобіль буде рухатися під гору.

3.2. Геліомобілі [13].

Високий рівень сучасних технологій створення сонячних батарей надає можливості залучати енергію сонця для використання у ТЗ. Сонячні батареї -це сукупність фотоелементів, які з'єднані між собою і перетворюють сонячну енергію в електричну. Фотоелемент - електронний прилад, який перетворює енергію фотонів в електричну енергію. Більше інформації про геліомобілі можна знайти ([13], стор. 218).

3.3. Український електромобіль з сонячними батареями [17].

У СНУ ім. В. Даля (Східноукраїнський національний університет) презентували макет електромобіля на ім'я Єва, з сонячними батареями, вартість серійної версії такого авто може скласти \$12 тис. Проект виконується в університеті групою науковців із залученням студентів університету та Сєвєродонецького політехнічного фахового коледжу.

Науковці створили макет електромобілю з покращеними

характеристиками, за допомогою якого можна удосконалити технологію його виробництва та дослідити його роботу у реальних умовах. Він є цілком функціонуючим та в запропонованому вигляді здатний проїхати до 100 км та розвивати швидкість до 80 км/год. Швидкість обмежена програмно. Автомобіль оснащено електродвигуном, електробатареею (конструкцією передбачено встановлення до двох батарей).

Мета проекту Єва – створення першого українського електромобілю, який за технічними характеристиками відповідатиме світовим стандартам і матиме покращені характеристики з безпеки і комфорту; удосконалення існуючих технологій автомобілебудування, що дозволить суттєво зменшити вартість автомобіля у порівнянні зі світовими аналогами.

Замість традиційного несучого кузова у Єви- алюмінієва рама за технологією frame-space, на якій будуть встановлені елементи кузова та інші компоненти. Елементи кузова пропонується виготовляти з полімерного матеріалу, який не вимагає лакування і не піддається корозії, за технологією вакуумної витяжки. Це дозволяє суттєво, майже вдвічі, скоротити витрати на організацію виробництва та технічне обслуговування обладнання, що істотно впливає на кінцеву вартість електромобілю, і зменшити вагу автомобіля до 1100 кг. Виготовлення елементів кузова з полімерних матеріалів відкриває можливості для рециклінгу матеріалів, що використовуються при виробництві. Автомобіль має рамну конструкцію. Кузов автомобіля виготовлено зі склопластику. Загальний вигляд електромобілю на сонячних батареях Єва показаний на рис. 3.1.

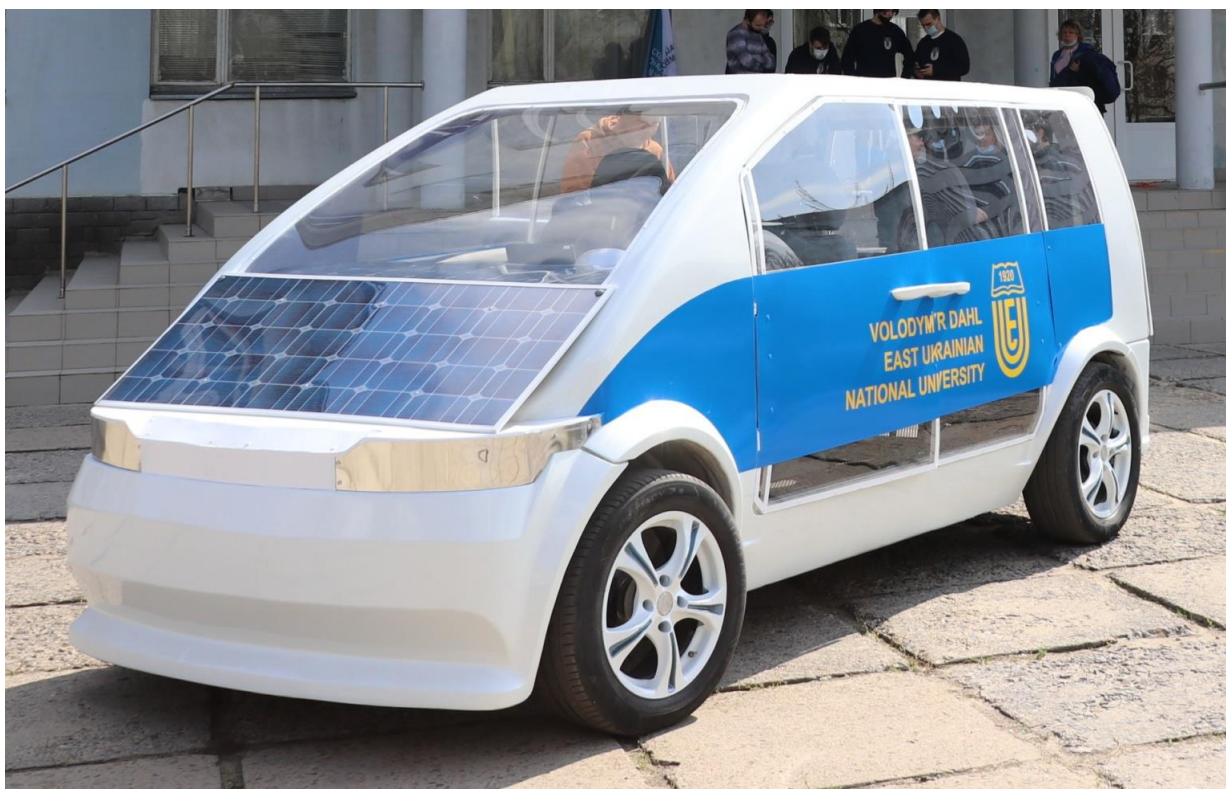


Рис. 3.1. Загальний вигляд українського електромобілю
на сонячних батареях Єва [17]

Концепт пропонує можливість встановлення сонячних батарей на дах і капот електромобілю, які будуть підзаряджати основну батарею і забезпечувати додаткових 0-30 км в день, що в міських умовах істотно впливатиме на витрату батареї і збільшує її ресурс. Можливість забезпечення електромобіля додатковою батареєю завдяки рамній конструкції дозволить збільшити пробіг на одній зарядці до 500 км. Завдяки запропонованій технології виготовлення кузова електромобіль може використовуватися людьми з інвалідністю на інвалідних візках, не залишаючи самих візків. Педалі газу та гальма для цих категорій осіб будуть переміщені з ніжної області в область керма.

При довжині 4 м автомобіль має рівну підлогу довжиною 3,1 м та внутрішню висоту салону, яка дозволяє здійснювати будь-яку його трансформацію, починаючи від вантажного двомісного варіанта з корисним об'ємом, який відповідає повноцінному п'ятимісному автомобілю з розміром салону на рівні бізнес-седанів. Наявність додаткового джерела енергії та кліматичної системи разом з можливістю бистої та легкої трансформації салону дозволяє реалізувати в запропонованому макеті електромобіля мобільний офіс, що є дуже актуальним в сучасних умовах.

Завдяки запропонованій «модульній платформі» базовий автомобіль можна буде за бажанням користувача достатньо легко вдосконалювати протягом експлуатації. Так, наприклад, може бути встановлена батарея та двигун більшої ємності або додаткова батарея, привід на два колеса доповнити до повнопривідної версії тощо за рахунок використання готових інженерних рішень, які легко будуть інтегруватися в базовий автомобіль.

Таким чином, група розробників пропонує новий підхід до виробництва електромобілів, що дозволяє отримати в малих габаритних розмірах недорогий конкурентний автомобіль з великим салоном, що має можливість трансформації та модифікації. Запропонований автомобіль може заповнити сегмент ринку бюджетних автомобілів вартістю від \$12,000. Також у СНУ запевняють, що Єва отримає унікальну систему безпеки як для самого автомобіля, так і для пішоходів, велосипедистів тощо. Ця технологія запатентована і вперше буде використана в автомобільному транспорті.

Розділ 4. Моделювання гібридного автомобіля у програмі Advisor Matlab.

Проаналізувавши інформацію, що викладена в попередніх трьох розділах, а також враховуючи виявлені недоліки електромобілів і автомобілів на водневих паливних комірках, було вирішено змоделювати гібридний автомобіль, який може працювати в режимі електромобіля а також може працювати на бензині з ДВЗ. Такий автомобіль був змодельований у програмному середовищі Matlab, використовуючи спеціальну програму Advisor, студентську версію, яку студенти можуть використовувати безкоштовно протягом місяця.

В середовищі MATLAB програма Advisor обираємо наступні параметри гібридного автомобіля, що показані на рис. 4.1:

Максимальна потужність: 43 [кВ];

Запалювання: іскрове (IS);

Батарея: Нікель-метал-гібридна (nimh);

Трансмісія: планетарна безступінчаста (pgcvt);

Привідні колеса: передні.

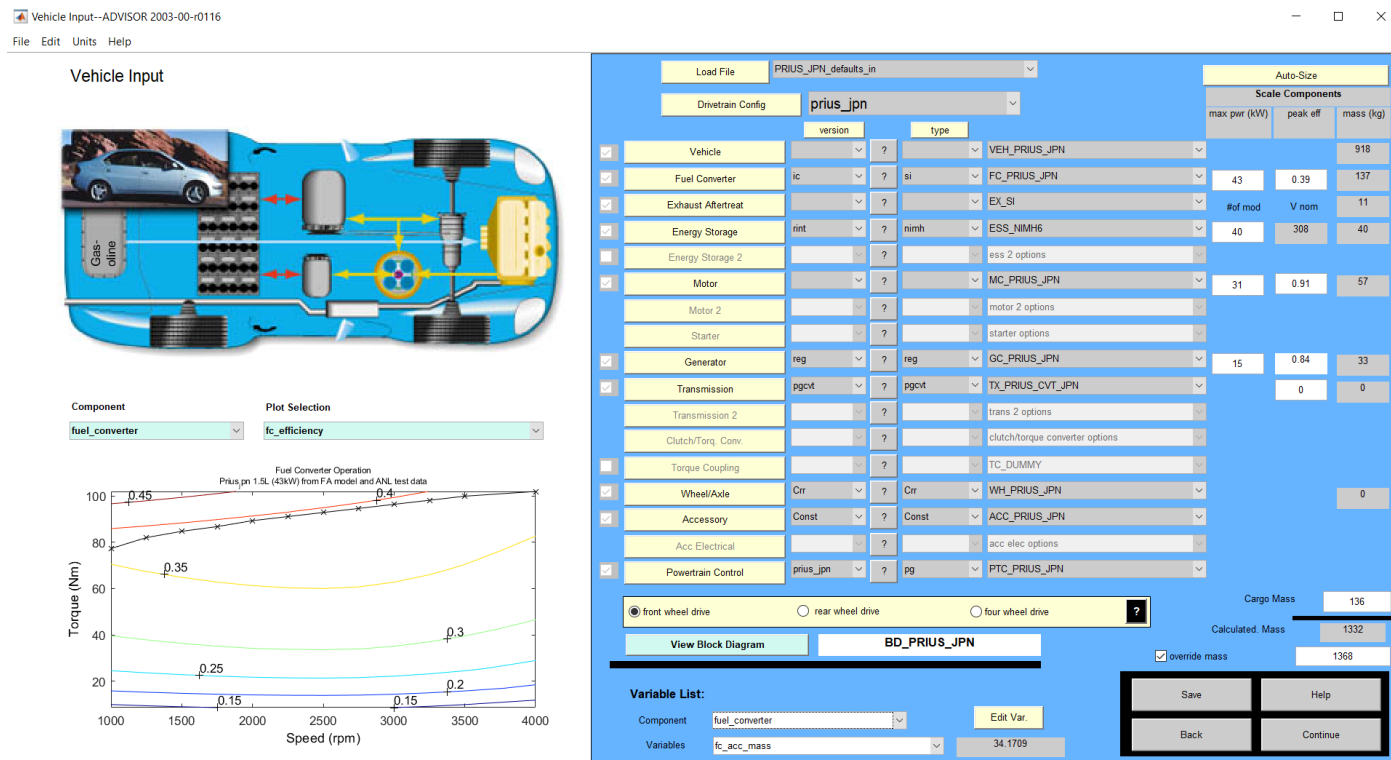


Рис.4. 1. – Параметри гібридного автомобіля (базовий автомобіль Toyota Prius)

Після натискання кнопки “Continue” (Продовжити) переходимо у вікно вибору параметрів циклу, що показано на рис. 4. 2.

Вибираємо для гібридного автомобіля 3 цикли на дорозі з ухилом 1,5%, без додаткових навантажень на електромережу.

Параметри їздового циклу (drive cycle) наступні:

Час циклу: 1369 [с];

Дистанція: 12 [км];

Максимальна швидкість: 91 [км/год];

Середня швидкість: 31,5 [км/год];

Максимальне прискорення: $\pm 1,48$ [м/с²]

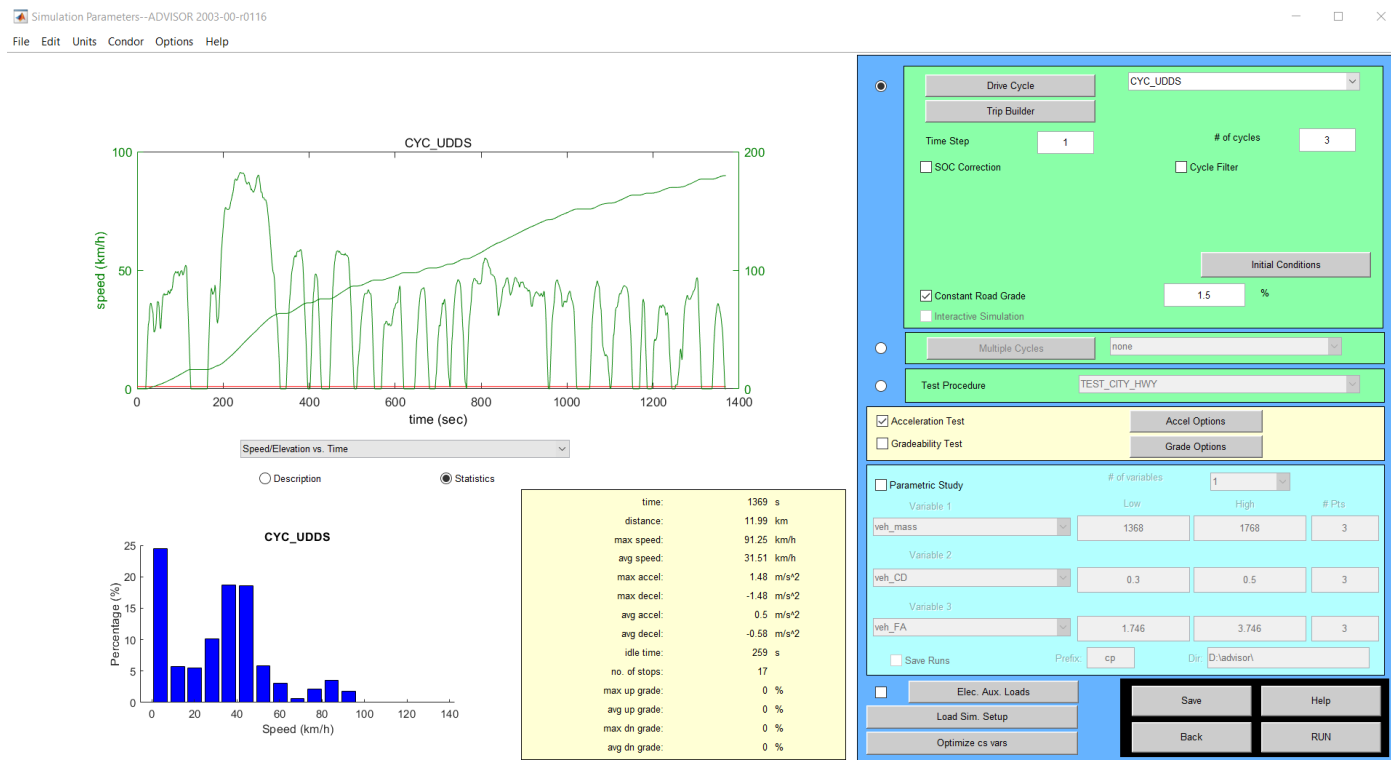


Рис.4. 2. – Вікно вибору параметрів їздового циклу (drive cycle)

Змодельюємо тести прискорення (acceleration test) автомобіля, а саме: швидкість розгону автомобіля від 0 до 100 [км/год], від 60 до 100 [км/год] та від 0 до 130 [км/год], максимальну швидкість, максимальне прискорення та швидкість проїзду 402 [м], що показано на рис. 4.3.

Acceleration Test Advanced Options

Test Conditions

Basic Parameters	Units	Value
☒ Shift Delay	s	0.2

Enable/Disable Systems

☒ All Systems Enabled
☐ Energy Storage Disabled
☐ Fuel Converter Disabled

	Units	Value
☒ Initial SOC	--	0.6

Mass Parameters

☒ Use Current Mass
☐ Override Vehicle Mass
☐ Add to Current Mass

	kg
Use Current Mass	1368
Override Vehicle Mass	1368
Add to Current Mass	0

Test Results

Parameter	Initial Speed		Final Speed	Units
☒ Accel time #1	0	to	100	km/h
☒ Accel time #2	60	to	100	km/h
☒ Accel time #3	0	to	130	km/h

	Value	Units
☒ Distance in ...	5	s
☒ Time in ...	0.402	km
☒ Max accel rate		
☒ Max speed		

Рис.4.3. – Тести прискорення (acceleration test)

Отримані результати в Програмі Advisor (швидкість автомобіля, стан заряду батареї, викиди автомобіля, зміна температури) показані на рис.4.4.

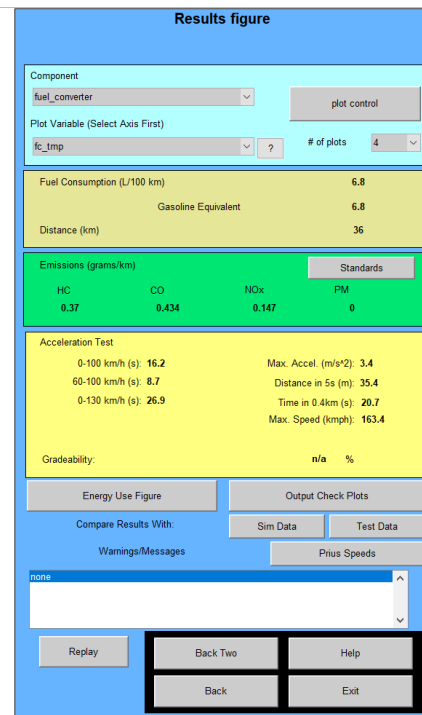


Рис.4.4. – Результати вимірювань

На першому графіку зображено швидкість автомобіля (км/год) під час усього тесту. На другому графіку показано – стан заряду батареї. Як бачимо, батарея спочатку «просідає» до половини заряду, а вже потім її заряд починає підтримуватися двигуном. Це говорить про те, що перших приблизно 7км автомобіль рухався тільки завдяки електричній тязі.

На третьому графіку видно викиди автомобіля. На початку, близько 1.5 км, ми бачимо сплеск рівня викидів. Швидше всього це пов'язано з прогрівом ДВЗ. Каталітичний нейтралізатор, як і рідини автомобіля, ще не вийшли на свої робочі температури, отже працюють в ненормальному для себе режимі. Але, як видно з останнього графіка, що вказує на температуру всередині двигуна, після проходження відмітки в 50*С викиди різко зменшуються до своєї норми і не підвищуються до кінця поїздки.

На рис. 4.5. показані викиди гібридного автомобіля в процесі їздового циклу.

Emissions (grams/km)			Standards
HC	CO	NOx	PM
0.37	0.434	0.147	0

Рис.4. 5. – Рівень викидів (г/км) гібридного автомобіля

Європейський стандарт за нормами викидів токсичних речовин показано на рис. 4.6.

Стандарти Євро по викидам токсичних речовин							
Євро	Дата	CO	THC	NMHC	NOx	HC+NOx	PM
стандарт	виконання*	(г/км)	(г/км)	(г/км)	(г/км)	(г/км)	(г/км)
Дизель							
Euro I	Липень 1993	2.72	–	–	–	0.97	0.14
Euro II	Січень 1997	1.00	–	–	–	0.70	0.08
Euro III	Січень 2001	0.64	–	–	0.50	0.56	0.05
Euro IV	Січень 2006	0.50	–	–	0.25	0.30	0.025
Euro V	Вересень 2010	0.500	–	–	0.180	0.230	0.005
Euro VI	Вересень 2015	0.500	–	–	0.180	0.230	0.005
Бензин							
Euro I	Липень 1993	2.72	–	–	–	0.97	–
Euro II	Січень 1997	2.20	–	–	–	0.50	–
Euro III	Січень 2001	2.30	0.20	–	0.15	–	–
Euro IV	Січень 2006	1.00	0.10	–	0.08	–	–
Euro V	Вересень 2010	1.000	100.00	0.68	0.60	–	0.005**
Euro VI	Вересень 2015	1.000	100.00	0.68	0.60	–	0.005**

Рис.4. 6 – Норми Євро за викидами токсичних речовин

В технічній документації вказано, що наш автомобіль Toyota Prius має норми Євро 3. Але судячи з результатів моделювання, норми по HC від не проходить, а ось по нормам CO має запас у декілька разів.

Для прояснення цієї ситуації було проведено ще один тест. На цей раз кількість циклів з 3 було збільшено до 50, тим самим збільшилася відстань з 36 до 480 км. Було отримано такий результат, що показаний на рис.4. 7.

Emissions (grams/km)			Standards
HC	CO	NOx	PM
0.208	0.232	0.122	0

Рис. 4.7 – Рівень викидів (г/км) на довшій дистанції 480 км.

З описаного вище, можна зробити висновок, що холодний двигун генерує збільшену кількість шкідливих речовин, яка на коротких дистанціях не може задовільнити норми викидів. На великій же дистанції

наш автомобіль навіть у такому «рваному» циклі проходить норми Євро свого часу.

Останнє, що показує програма Advisor, це ось такі показники паливної економічності (рис.4. 8) та прискорень (рис.4. 9).

Fuel Consumption (L/100 km)	6.8
-----------------------------	-----

Рис.4.8 – Показники паливної економічності (л/100 км)

Acceleration Test	
0-100 km/h (s): 16.2	Max. Accel. (m/s^2): 3.4
60-100 km/h (s): 8.7	Distance in 5s (m): 35.4
0-130 km/h (s): 26.9	Time in 0.4km (s): 20.7
	Max. Speed (kmph): 163.4
Gradeability:	n/a %

Рис.4. 9 – Показники прискорень

Висновок до 4 розділу.

В програмі Advisor було розраховано деякі параметри гібридного автомобіля (на основі автомобіля Toyota Prius), а саме параметри його прискорень, паливної економічності, а також рівня викидів на ділянці дороги при певному циклі роботи. Щодо роботи автомобіля при холодному двигуні – при постійних коротких поїздках рівень викидів вуглеводнів значно вищий, ніж при роботі повністю прогрітого двигуна.

Отже, програма Matlab Advisor дає змогу змодельовати параметри роботи гібридного автоомбіля і також характеристики їздових циклів.

Список джерел

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. для студентів ВНЗ/ Ю. Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О. В. Сирота, Д. М. Тріфонов; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2015. - 243 с. -
2. <http://energonews.kz/?p=1696>
3. http://globalpetrolprices.com/gasoline_prices/
4. <http://index.minfin.com.ua/tarif/electric/>
5. <http://biz.liga.net/tek/oil/a-95.htm>
6. О. П. СМІРНОВ, О. Б. БОГАЄВСЬКИЙ; А. О. СМІРНОВА.

«Розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах».

7. <https://nextcar.ua/news/ukrainskiy-elektromobil-coolon-vyydet-na-rynok-po-cene-ot-16-000/>

8. <https://nextcar.ua/servisy-trade-in-obmen/zaryadnye-stancii-dlya-ev/>

9. Nelson Thornes. Hillier's Vehicle Fundamentals of Motor Technology. Sixth Edition, 2012. Hiller. (Книга з бібліотеки, West Herts College, UK)

10. <http://biz.liga.net/all/it/stati/3298737-uglerod-po-ukrainski-ot-gibkikh-smartfonov-do-mashin-bez-benzina-.htm>

11. <https://www.volvogroup.com/en/future-of-transportation/innovation/electromobility/hydrogen-fuel-cells.html>

12. www.FuelCellIndustryReview.com.

13. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О. В. Сирота, Д. М. Трифонов; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2015. - 243 с.

14. C-Class. PLUG-IN HYBRID Supplement. /Mercedes- Benz.. 2017, Edition AEJ2017-1a. 59 p.

15. C-Class. Owner's Manual/ Mercedes -Benz. Edition AEJ2017-1a. 2017, рік, 404 p.

16. <http://www.mercedes-benz.com>

17. <https://itc.ua/news/v-snu-im-v-dalya-stvorili-elektromobil-eva-z-sonyachnimi-batareyami-vartist-serijnoi-versii-mozhe-sklasti-12-tis/>
(27.04.2021)