

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гуманітарно-педагогічний факультет

Кафедра технологічної та професійної освіти і декоративного мистецтва

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Дидактичне проєктування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» для студентів закладів професійної освіти

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Галузь знань – 01 Освіта /Педагогіка

Спеціальність – 015 Професійна освіта (за спеціалізаціями)

Спеціалізація – 015.38 Транспорт

Освітньо-професійна програма – Професійна освіта. Транспорт
(Обслуговування та ремонт автомобілів)

КвРПОТ. 024001.01.01 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу
група ПОТм-24-1

Любомир ГРИГОРУК

Керівник: к.пед.н., доц.

Іван ГЕРНІЧЕНКО

Нормоконтролер

Віктор ПРИЙМАК

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри технологічної
та професійної освіти і
декоративного мистецтва

Олена САМБОРСЬКА

11 грудня 2025 р.

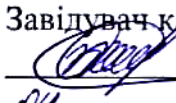
Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гуманітарно-педагогічний
 Кафедра технологічної та професійної освіти і декоративного мистецтва
 Освітній рівень другий (магістерський)
 Галузь знань 01 Освіта / Педагогіка
 Спеціальність 015 Професійна освіта (за спеціалізаціями)
 Освітня програма «Професійна освіта. Транспорт (Обслуговування та ремонт автомобілів)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Олена САМБОРСЬКА
 04. 09 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Любомиру ГРИГОРУКУ

(ім'я, прізвище)

1. Тема кваліфікаційної роботи Дидактичне проєктування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» для студентів закладів професійної освіти

керівник кваліфікаційної роботи к.пед.н., доц. Іван ГЕРНІЧЕНКО

Затверджено наказом ректора університету від 25.08.2025 р. №65, додаток 5

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 20.12.2025 р.

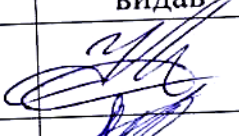
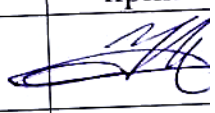

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи Стандарт професійної (професійно-технічної) освіти з професії 7231 «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів» СП(ПТ)О 7231.С.19.10 - 2018

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Теоретичні основи проєктування навчальних посібників з автомобільної тематики у професійній освіті. Проєктування змісту основного тексту навчального посібника. Розробка елементів методичного апарату навчального посібника. Оцінювання та експериментальна перевірка якості навчального посібника

5. Перелік графічного матеріалу

немає


6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перевірка на плагіат	Іван ГЕРНІЧЕНКО		
Нормоконтроль	Віктор ПРИЙМАК		1.12.2025

7. Дата видачі завдання 4.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прип
1	Вступ	03.11.2025	виконано
2	1 розділ	10.11.2025	виконано
3	2 розділ	17.11.2025	виконано
4	3 розділ	17.11.2025	виконано
5	Висновки, перелік посилань	22.11.2025	виконано
6	Попередній захист	24.11 - 25.11.2025	виконано
7	Нормоконтроль	26.11 - 04.12.2025	виконано
8	Перевірка на плагіат	05.12 - 08.12.2025	виконано
9	Рецензування	12.12 - 18.12.2025	виконано
10	Захист	22.12.2025	виконано

Здобувач  (підпис) Любомир ГРИГОРУК

Керівник кваліфікаційної роботи  (підпис) Іван ГЕРНІЧЕНКО

Анотація

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню процесу проектування та розроблення навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» для здобувачів професійної освіти. У роботі розкрито теоретичні засади створення навчальних видань, принципи добору змісту, формування дидактичних одиниць та побудови структурно-сислової моделі посібника з урахуванням сучасних вимог автомобільної галузі та тенденцій розвитку електромобільності.

Дослідження охоплює аналіз навчальних програм, підручників і державних стандартів професійної освіти, визначення вимог до змісту та структури навчального посібника, а також методичні підходи до використання ілюстрацій, таблиць, схем і пояснювальних текстів. У межах роботи розроблено систему питань для самоконтролю і тестових завдань, що забезпечують перевірку знань та формування професійних компетентностей учнів у сфері гібридних і електричних транспортних засобів. Окрему увагу приділено експертному оцінюванню якості посібника, аналізу результатів анкетування викладачів і здобувачів освіти та визначенню перспектив його вдосконалення.

Результати дослідження засвідчують, що запропонований навчальний посібник відповідає сучасним освітнім потребам, сприяє підвищенню рівня технічної підготовки учнів і формує в них цілісне розуміння будови, принципів роботи та правил експлуатації гібридних і електричних автомобілів.

Робота містить – 88 сторінок основного тексту, 3 додатки та 44 літературних джерела. Матеріали дослідження можуть бути корисними для викладачів закладів професійної освіти, методистів, авторів навчальних видань та фахівців, які займаються оновленням змісту професійної освіти.

17 грудня 2025 р.



Любомир ГРИГОРУК

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Теоретичні основи проєктування навчальних посібників з автомобільної тематики у професійній освіті	10
1.1 Особливості професійної підготовки фахівців автомобільного профілю.....	10
1.2 Психолого-педагогічні аспекти навчання технічних дисциплін у закладах професійної освіти.....	12
1.3 Вимоги до структури та змісту навчальних посібників з автомобільної тематики, методичні підходи до їх розроблення.....	18
2 Проєктування змісту основного тексту навчального посібника.....	25
2.1 Проєктування результатів навчання з теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів».....	25
2.2 Аналіз навчальних програм і підручників з автомобільного транспорту.....	32
2.3 Компонування інформаційного поля та формування дидактичних одиниць навчального матеріалу.....	36
2.4 Побудова структурно-сислової моделі та визначення логічної послідовності викладу матеріалу.....	39
3 Розробка елементів методичного апарату навчального посібника.....	51
3.1 Визначення структури та укладання змісту навчального посібника.....	51
3.2 Формування основного тексту та супровідних елементів	55
3.3 Обґрунтування додаткового і пояснювального тексту	63
3.4 Розробка системи навчальних завдань	68
3.5 Оцінювання та експериментальна перевірка якості навчального посібника.....	74
Висновки.....	82
Перелік джерел посилань.....	84

Додаток А Зміст дидактичних одиниць.....	89
Додаток Б Анкета для викладачів.....	161
Додаток В Анкета для здобувачів освіти.....	163

ВСТУП

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, цифровізація промисловості та зростання екологічних викликів зумовлюють активне впровадження альтернативних джерел енергії у транспортній галузі. Електричні та гібридні транспортні засоби дедалі частіше використовуються у всьому світі як більш екологічна та енергоефективна альтернатива традиційним авто з двигунами внутрішнього згорання. У зв'язку з цим, сучасна професійна освіта має забезпечити підготовку фахівців, здатних обслуговувати, експлуатувати та ремонтувати новітні типи автомобілів.

Разом з тим, як зазначають науковці С. Гончаренко [1], І. Сілаєва [2], С. Шевчук [3], В. Луговий [4], зміст професійної освіти повинен постійно оновлюватися відповідно до змін у технологіях, соціально-економічних умовах та вимогах ринку праці. У структурі змісту освіти важливу роль відіграють навчальні посібники та підручники, які, згідно з концептуальними положеннями дидактики, є не лише джерелом знань, а й засобом розвитку мислення, формування компетентностей і навичок самостійної пізнавальної діяльності учнів.

Дидактичне проектування навчальних матеріалів у професійній освіті досліджували й українські вчені, зокрема Н. Ничкало [5], І. Зязюн [6], В. Радкевич [7], які наголошували на важливості зв'язку змісту навчання з реальними потребами виробництва. Особливу увагу приділяли адаптації навчальних матеріалів до пізнавальних можливостей студентів закладів професійної освіти, застосуванню компетентнісного підходу та поєднанню теорії з практикою. У наукових працях О. Жосан [8] та І. Смирнової [9] підкреслюється значення навчального посібника як дидактичної моделі змісту, яка повинна бути логічно структурованою, наочною, доступною та мотиваційно орієнтованою.

Проте аналіз чинних навчальних програм і підручників засвідчує брак сучасних навчально-методичних матеріалів, присвячених будові та експлуатації електричних і гібридних автомобілів. У багатьох закладах професійної освіти відчувається дефіцит якісної навчальної літератури, які б відповідали вимогам сьогодення. Це знижує ефективність освітнього процесу та ускладнює формування у здобувачів освіти фахових компетентностей, затребуваних на сучасному ринку праці.

У зв'язку з цим постає необхідність дидактичного проектування змісту навчального посібника, який би відповідав сучасним вимогам професійної освіти, відображав технічні інновації у транспортній сфері та був адаптований до можливостей студентів закладів професійної освіти.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка структури й змісту навчального посібника з теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» для студентів закладів професійної освіти.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців у сфері автомобільного транспорту в закладах професійної освіти.

Предмет дослідження – дидактичні засади проектування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів».

Завдання дослідження:

- схарактеризувати теоретичні основи дидактичного проектування навчальної літератури у професійній освіті;
- визначити вимоги до змісту, структури та методичного наповнення навчальних матеріалів з автомобільної тематики;
- розробити структуру та зміст основного тексту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»;
- створити методичний апарат для засвоєння навчального матеріалу;
- провести оцінювання якості розробленого навчального посібника та визначити перспективи його вдосконалення.

Методи дослідження: теоретичні – аналіз, систематизація та узагальнення науково-педагогічної, методичної й спеціальної технічної літератури з проблеми дослідження; емпіричні – педагогічне спостереження, анкетування викладачів і здобувачів освіти; методи педагогічного проектування і моделювання структури та змісту навчального посібника; педагогічний експеримент з метою перевірки ефективності розробленого навчального видання; методи кількісного та якісного аналізу й узагальнення отриманих результатів.

Результати кваліфікаційної роботи було апробовано на науковій студентській конференції секції кафедри технологічної та професійної освіти і декоративного мистецтва (м. Хмельницький, 02 травня 2025 р.). Опубліковано тези доповідей на тему «Обґрунтування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»» [10].

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ПОСІБНИКІВ З АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕМАТИКИ У ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

1.1 Особливості професійної підготовки фахівців автомобільного профілю

Підготовка майбутніх фахівців автомобільного профілю у закладах професійної освіти є важливим компонентом розвитку транспортної галузі, яка сьогодні перебуває у стані активної технологічної трансформації. Розширення сегменту гібридних та електричних транспортних засобів, розвиток інтелектуальних систем керування, зміна енергетичних підходів та посилення вимог до екологічності викликають потребу переформатування змісту професійної освіти. Традиційно навчання орієнтувалося на конструкцію і експлуатацію автомобілів із двигунами внутрішнього згорання, однак такі знання вже не є достатніми для сучасного фахівця.

Професійна підготовка фахівців в галузі транспорту передбачає поєднання фундаментальних технічних знань із практичними вміннями приймати рішення в умовах виробничої діяльності. У змісті освіти поєднуються навчальні дисципліни механіки, електротехніки, матеріалознавства, автомобільної електроніки, експлуатації та технічного обслуговування транспортних засобів. Вивчення новітніх автомобільних систем потребує здатності працювати з елементами високовольтної електротехніки, інверторними системами, тяговими батареями, електронними системами керування та діагностики.

Принципово важливим аспектом є діяльнісний характер підготовки. Здобувач освіти має не лише знати конструкцію, але й уміти читати електричні схеми, інтерпретувати технічну документацію, проводити вимірювання, виконувати діагностичні дії, аналізувати технічний стан агрегатів. У процесі навчання важливо розвивати системне мислення – розуміння автомобіля не як

набору окремих вузлів, а як інтегрованої технічної системи, у якій змінюється логіка енергопостачання та розподілу навантажень.

Стандарти професійної освіти визначають необхідність формування у майбутніх фахівців комплексу компетентностей. Зокрема, технічна компетентність забезпечує знання та розуміння принципів роботи транспортних систем; операційна – здатність здійснювати технічне обслуговування та експлуатацію; діагностична – уміння аналізувати параметри роботи та виявляти відхилення; інформаційно-аналітична – здатність працювати з сучасними інформаційними системами; комунікативна – взаємодія у командному виробничому середовищі [11].

Зміна технологічної основи автомобілебудування висуває нові вимоги. Гібридні та електричні транспортні засоби характеризуються наявністю високовольтних електродвигунів, інверторних перетворювачів, систем рекуперації енергії, складних електронних контролерів та модулів управління енергоспоживанням. Порівняно з традиційними автомобілями, у таких системах ключовим стає розуміння електричних процесів, програмних алгоритмів керування та вимог безпеки роботи з високою напругою. Таким чином, зміст підготовки має бути оновлений відповідно до технологічних реалій транспортної галузі.

Однією з проблем професійної освіти є недостатня кількість сучасних навчальних матеріалів українською мовою, що враховують специфіку електромобілів та гібридних силових установок. Часто використовувані підручники є або застарілими, або розроблені для навчання на рівні інженерів, а не фахових молодших бакалаврів чи кваліфікованих робітників, що ускладнює їх практичне опанування [12]. Тому розроблення навчального посібника із цілеспрямованою структурою, адаптованою до рівня підготовки студентів закладів професійної освіти, є педагогічно виправданим.

Важливою вимогою до навчального матеріалу є його доступність, логічна послідовність викладу, наявність прикладів і пояснень, що забезпечують глибоке розуміння принципів роботи технічних систем. Посібник має містити

схеми, таблиці, ілюстрації та пояснення, що дозволяють студенту співвіднести теоретичні поняття з реальною конструкцією автомобіля. Окремо слід підкреслити значущість включення завдань для самоконтролю та практичних вправ, які сприяють формуванню професійних умінь.

Таким чином, особливості професійної підготовки фахівців автомобільного профілю та сучасні тенденції розвитку автомобільної техніки обумовлюють необхідність створення навчального посібника, спрямованого на формування у студентів системного розуміння будови та принципів експлуатації гібридних та електричних автомобілів, а також відповідних професійних компетентностей.

1.2 Психолого-педагогічні аспекти навчання технічних дисциплін у закладах професійної освіти

Навчання технічних дисциплін у закладах професійної освіти має свою специфіку, що визначається поєднанням абстрактно-теоретичного змісту та необхідністю його практичного застосування у виробничих ситуаціях. Засвоєння технічних знань вимагає від здобувачів уміння аналізувати причинно-наслідкові зв'язки, оперувати поняттями та моделями, співвідносити схеми й реальні технічні системи. У цьому контексті важливо враховувати психологічні механізми пізнання, закономірності формування професійного мислення та уміння застосовувати знання у конкретних умовах [13].

Здобувачі професійної освіти, які навчаються за спеціальностями транспортного профілю, мають низку характерних психологічних особливостей, що впливають на сприйняття та засвоєння технічних знань. Для більшості з них провідним мотивом навчання є прагнення оволодіти конкретною професією та отримати прикладні, практично корисні вміння. Це визначає домінування практичної спрямованості мислення, орієнтації на

результат та здатності сприймати інформацію через приклад, модель або демонстрацію [6].

У цьому віковому періоді активно формується професійна ідентичність, але водночас зберігається потреба у зовнішніх підкріпленнях: визнанні, позитивному оцінюванні, підтвердженні власної компетентності. Це означає, що мотивація до навчання поєднує як внутрішні складові (інтерес, причетність до майбутньої професії), так і зовнішні (оцінка, результативність, успіх у практичних завданнях). Найдієвішим є створення навчальних ситуацій, де видно корисність знань для реальних виробничих процесів [6].

Особливо важливими є особливості сприйняття інформації. Для більшості студентів професійної освіти характерне образно-наочне та просторово-геометричне мислення, що дозволяє краще засвоювати матеріал, поданий через схеми, креслення, технічні зображення, 3D-моделі та анімації. Тому пояснення складних технічних процесів доцільно здійснювати через візуалізацію та покрокове розгортання причинно-наслідкових зв'язків. Сухе текстове пояснення, без графічного супроводу, істотно ускладнює розуміння механічних, електричних та енергетичних процесів [14].

Водночас для багатьох здобувачів характерна нестійка довготривала увага, особливо коли навчальний матеріал подається у великих теоретичних блоках без зміни діяльності. Найкращих результатів вдається досягти тоді, коли навчання організовано у вигляді коротких, логічно завершених фрагментів, що чергуються з практичними діями, обговореннями або демонстраціями.

Ще однією важливою психологічною рисою є неоднорідність рівнів попередньої підготовки. До груп професійної освіти приходять здобувачі з різними стартовими знаннями з фізики, електротехніки, механіки. Це створює потребу у диференціації навчання, використанні покрокових інструкцій, опорних схем і алгоритмів, що забезпечують безпечне входження до складніших технічних тем, зокрема таких, як будова гібридних силових установок або систем високовольтного живлення.

Отже, ефективне навчання технічних дисциплін у професійній освіті неможливе без врахування вікових, мотиваційних та когнітивних особливостей здобувачів, забезпечення наочності, поетапності та практичної спрямованості навчального процесу.

Урахування психологічних особливостей здобувачів професійної освіти створює підґрунтя для вибору таких методів навчання, які сприяють формуванню ключових професійних якостей. Важливу роль у цьому відіграє розвиток технічного мислення, що є базовою когнітивною умовою ефективної роботи з технічними системами, механізмами та технологічними процесами. Саме технічне мислення забезпечує здатність розуміти структуру об'єкта, його функції, взаємозв'язки елементів та результати їхньої взаємодії [3].

Технічне мислення передбачає не лише знання термінів і понять, але й уміння аналізувати технічні ситуації, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, порівнювати конструктивні рішення та прогнозувати наслідки їх застосування. Особливо це важливо у вивченні сучасного автомобільного транспорту, де технічні системи є складними, інтегрованими та високовольтними, що вимагає точності та послідовності мислення.

Формування технічного мислення тісно пов'язане з розвитком операційного та алгоритмічного мислення – здатності планувати та виконувати дії у визначеній послідовності. Це проявляється у роботі з технологічними картами, діагностичними алгоритмами, електричними схемами [16]. Такі навички особливо важливі у процесі вивчення будови гібридних і електричних автомобілів, адже помилка у послідовності операцій може бути не лише технічно некоректною, але й небезпечною через наявність високої напруги в системах накопичення енергії.

Окремого значення набуває формування навичок розв'язання технічних проблем. У професійній діяльності фахівець повинен уміти визначати несправність за симптомом, аналізувати дані діагностичних приладів, висувати гіпотези та перевіряти їх. Тому у навчальному процесі доцільно застосовувати виробничі ситуації, кейси, моделювання несправностей, проблемно-пошукові

завдання, які стимулюють активну розумову діяльність і сприяють перенесенню знань у практику.

Розвиток технічного мислення також підсилюється виконанням навчальних проєктів, де студент має змогу не лише відтворити готовий алгоритм дій, але й самостійно планувати етапи роботи, здійснювати вибір конструктивних рішень, аргументувати власні пропозиції. Такий підхід сприяє становленню професійної автономії та відповідальності, що є важливими складовими компетентності майбутнього фахівця [16].

Таким чином, розвиток технічного мислення і професійних навичок у здобувачів професійної освіти є цілеспрямованим процесом, що ґрунтується на поєднанні когнітивних механізмів, практичної діяльності та проблемно-орієнтованого навчання. Це створює основу для подальшого оволодіння складними технічними системами, зокрема гібридними та електричними транспортними засобами.

Розвиток технічного мислення та професійних навичок визначає необхідність добору таких педагогічних технологій, які забезпечують активну пізнавальну діяльність здобувачів, формують здатність працювати з технічною інформацією та застосовувати її на практиці. Ефективність навчання технічних дисциплін значно підвищується при використанні методів, що поєднують теоретичне осмислення і практичне моделювання професійних ситуацій [15].

Одним із провідних напрямів є застосування активних і інтерактивних методів навчання, які стимулюють самостійність мислення, ініціативність та здатність приймати технічно обґрунтовані рішення. До них належать проблемне навчання, кейс-технології, навчальні дискусії, мікрогрупові завдання, проєктна діяльність [17]. Проблемні запитання та виробничі ситуації сприяють формуванню здатності визначати проблему, аналізувати умови, обирати оптимальний шлях вирішення – що є ключовим для роботи із складними транспортними системами.

Важливе значення має використання симуляції та моделювання. Віртуальні лабораторії, системи 3D-візуалізації, інтерактивні електричні схеми

та тренажери дозволяють відтворювати технічні процеси без ризику пошкодження обладнання або загрози безпеці [17]. Для вивчення гібридних і електричних автомобілів це особливо актуально, адже вони містять високовольтні енергосистеми, що потребують поступового й контрольованого переходу від теоретичних знань до реальних виробничих дій. Симуляційні середовища також сприяють зниженню тривожності перед роботою з новою технікою та підвищують упевненість у виконанні операцій.

Одним з основних принципів навчання технічних дисциплін є наочність, яка в даному контексті має розширений зміст. Це не лише демонстраційні плакати та креслення, але й структурні схеми, просторові моделі, цифрові макети агрегатів, інтерактивні панелі електричних ланцюгів. Наочність виконує пояснювальну функцію, дозволяючи представити взаємозв'язки елементів системи, що значно полегшує розуміння складних конструктивних та енергетичних процесів.

Практична спрямованість навчання є визначальною для професійної підготовки. Навіть у випадках, коли навчання має переважно теоретичний характер, важливим є постійний зв'язок із майбутньою виробничою діяльністю – аналіз реальних технічних ситуацій, огляд нових моделей автомобільного транспорту, використання інструкцій виробників, стандартів та технічної документації. Це забезпечує актуальність змісту і формує професійну ідентичність здобувача.

Таким чином, педагогічні технології в навчанні технічних дисциплін мають бути орієнтовані на активізацію пізнавальної діяльності, використання візуалізації, симуляцій і практичних завдань, що забезпечує ефективне засвоєння знань і поступове формування практичних умінь.

Ефективність застосованих педагогічних технологій неможливо оцінити без системи контролю та формувального оцінювання, що виступає інструментом зворотного зв'язку для корекції навчальної діяльності та розвитку професійних компетентностей. Контроль знань і навичок у технічних дисциплінах має враховувати не лише результат виконання завдання, а й

процес його розв'язання, що дозволяє виявити помилки мислення, недоліки алгоритму дій та пропуски в розумінні конструктивних принципів [18].

Формувальне оцінювання сприяє розвитку саморефлексії та відповідальності студентів. Воно передбачає регулярний аналіз виконаних практичних завдань, лабораторних робіт, проєктів та кейсів, що дозволяє виявити прогалини в знаннях, скоригувати темп навчання, надати індивідуальні рекомендації. Крім того, цей підхід формує у студентів навички самоконтролю та самонавчання, які є необхідними для подальшої професійної діяльності.

Психолого-педагогічний підхід до роботи з помилками передбачає їх розгляд не як негативного явища, а як джерела навчального досвіду. Аналіз причин невдачі, корекція алгоритмів дій і повторне відпрацювання ситуацій формує у студентів здатність системно мислити, прогнозувати наслідки та приймати оптимальні технічні рішення. Особливо це важливо у навчанні роботі з високовольтними системами та складними електронними компонентами гібридних і електричних автомобілів, де помилка може мати серйозні наслідки [18].

Комплексний підхід до оцінювання включає поєднання тестових методів, практичних завдань, проєктної діяльності та аналізу роботи в симуляційному середовищі. Така система дозволяє формувати повну картину професійної компетентності студента, забезпечує мотивацію до самовдосконалення та дає можливість адаптувати навчальні матеріали під конкретну групу учнів, враховуючи індивідуальні особливості сприйняття та рівень підготовки.

Отже, система контролю, оцінювання та корекції є невід'ємною складовою психолого-педагогічного супроводу навчання технічних дисциплін. Вона забезпечує не лише перевірку засвоєння знань, але й розвиток самостійності, професійної відповідальності та здатності приймати раціональні технічні рішення, що є критерієм готовності до професійної діяльності у сфері обслуговування гібридних та електричних автомобілів.

Розглянувши психолого-педагогічні аспекти навчання технічних дисциплін у закладах професійної освіти, можна підкреслити, що ефективність

освоєння знань значною мірою визначається тим, як саме організований навчальний матеріал. Здобувачі професійної освіти сприймають інформацію через практичні завдання, візуальні схеми та алгоритмічні дії, тому структура та зміст навчального посібника мають відповідати як вимогам педагогіки, так і специфіці професійної діяльності.

Навчальний посібник не може обмежуватися суто теоретичними положеннями: він повинен поєднувати логічну послідовність викладу, наочність, практичну спрямованість, модульність та інтеграцію знань і навичок. Важливим є дотримання принципів доступності, послідовності, системності і відповідності сучасним вимогам транспортної галузі, зокрема в аспектах гібридних та електричних автомобілів.

Таким чином, наступний підрозділ присвячено вимогам до структури та змісту навчальних посібників з автомобільної тематики, що дозволяє забезпечити оптимальне поєднання теоретичних знань і практичних умінь, враховуючи психолого-педагогічні особливості здобувачів та специфіку професійної діяльності у сфері сучасного автомобільного транспорту.

1.3 Вимоги до структури та змісту навчальних посібників з автомобільної тематики

Створення навчальних посібників з автомобільної тематики потребує врахування специфіки професійної підготовки та психолого-педагогічних особливостей здобувачів освіти. Навчальний посібник має забезпечувати систематизоване подання знань, формувати професійні компетентності, сприяти розвитку технічного мислення та практичних навичок, а також бути доступним та зрозумілим для учнів різного рівня підготовки [10].

Структура навчального посібника є ключовим чинником, що визначає зручність його використання, сприйняття інформації та ефективність засвоєння

матеріалу. Перш за все, видання має містити обов'язкові службові частини, включно з титульною сторінкою, анотацією, передмовою, рецензіями та змістом. Ці елементи формують загальне враження про посібник, забезпечують його відповідність нормативним вимогам та стандартизацію за ДСТУ [19]. Титульна сторінка та анотація виконують інформаційну функцію, рецензії – гарантують наукову достовірність, а зміст забезпечує логічну навігацію по розділах і підрозділах.

Логіка рубрикації основної частини навчального матеріалу повинна відображати як структурні, так і функціональні принципи організації знань. Наприклад, матеріал можна поділити за конструктивними вузлами автомобіля – двигун, трансмісія, ходова частина, або за функціональними аспектами – технічне обслуговування, ремонт, діагностика. Вибір підходу до рубрикації залежить від цілей навчання та специфіки професійної підготовки здобувачів, але незалежно від способу поділу розділи повинні утворювати логічну, послідовну систему, що полегшує засвоєння складних понять і забезпечує послідовне нарощування знань [20].

Не менш важливим є включення додаткових компонентів, які підвищують дидактичну цінність посібника. До них належать глосарій термінів, практикуми або лабораторні роботи, контрольні запитання, таблиці, схеми та додатки. Глосарій забезпечує уніфікацію термінології та допомагає студентам швидко орієнтуватися у специфічних поняттях. Практикуми та лабораторні роботи інтегрують теоретичні знання з виробничими навичками, а контрольні запитання дозволяють здійснювати формувальне оцінювання, самоконтроль і поглиблене опрацювання матеріалу.

Таким чином, правильно організована структура навчального посібника забезпечує зрозуміле, системне подання знань, інтеграцію теорії та практики, стандартизацію термінів та зручність використання, що є необхідною умовою для ефективного навчання здобувачів професійної освіти у сфері сучасного автомобільного транспорту.

Зміст навчального посібника має бути не лише актуальним і науково достовірним, а й повністю відповідати навчальним планам та державним стандартам професійної освіти. Це забезпечує формування компетентностей, передбачених Державними стандартами професійно-технічної освіти, і дає змогу здобувачам послідовно оволодівати знаннями та практичними навичками у відповідній галузі [20]. Кожен розділ і підрозділ посібника має корелюватися з конкретними навчальними цілями та результатами навчання, що закріплені в програмі підготовки фахівців автомобільного профілю.

Важливим аспектом є актуальність технологій, що розглядаються у навчальному матеріалі. Навчальний посібник має відображати сучасні тенденції автомобільної галузі, включно з гібридними та електричними силовими установками, системами безпеки ADAS, сучасними методами діагностики та ремонту, автоматизованими технологічними процесами. Використання застарілих даних або невідповідних схем може знизити практичну цінність посібника та створити ризики при подальшій професійній діяльності здобувачів [10].

Ще одним критерієм є наукова достовірність та точність інформації. У посібнику необхідно чітко дотримуватися технічної термінології, стандартизованих позначень, схем, креслень та розрахункових даних. Це гарантує коректність викладу і забезпечує можливість студентам правильно застосовувати отримані знання у практичних умовах [20]. Особливу увагу слід приділяти схемам електричних і гібридних систем, кресленням вузлів, алгоритмам діагностики та обслуговування, оскільки помилки у цих матеріалах можуть негативно впливати на розуміння і безпечне використання технологій.

Ефективність навчального посібника визначається не лише структурою та змістом, але й тим, як він сприяє формуванню професійних компетентностей та практичних навичок. Важливо, щоб матеріал мав чітку практичну спрямованість, відображав реальні технологічні процеси і надавав студентам можливість оволодівати уміннями, необхідними у виробничій діяльності. Це включає опис технологічних карт обслуговування та ремонту, кейсів

виробничих ситуацій, рекомендацій щодо вибору інструментів та послідовності операцій [] (Konoplenko, 2022).

Особливу роль відіграє наочність і візуалізація навчального матеріалу. Використання фотографій, схем, креслень, 3D-моделей та інтерактивних елементів дозволяє студентам краще зрозуміти складні системи гібридних і електричних автомобілів, побачити взаємозв'язки компонентів і механізмів та засвоїти принципи роботи вузлів. Наочний матеріал також підвищує ефективність засвоєння складних понять і сприяє розвитку просторового та конструктивного мислення [21].

Важливим завданням посібника є формування професійних компетентностей. Матеріал має охоплювати не лише знання, а й навички діагностики, виконання технічних операцій, прийняття рішень та дотримання норм охорони праці. Для цього доцільно інтегрувати практичні завдання, лабораторні роботи та кейс-методи, що моделюють реальні виробничі ситуації, та забезпечують можливість формувального оцінювання [20].

Сучасні навчальні посібники повинні враховувати інтеграцію з інформаційно-комунікаційними технологіями. Використання симуляційних програм, інтерактивних електричних схем та віртуальних лабораторій дозволяє студентам відпрацьовувати операції в безпечному середовищі, повторювати дії і аналізувати результати, що підвищує ефективність практичної підготовки і формує готовність до професійної діяльності у сучасних умовах автомобільної галузі [17].

Таким чином, дидактичні та методичні вимоги до навчального посібника полягають у поєднанні практичної спрямованості, наочності, формування компетентностей та інтеграції сучасних ІКТ, що забезпечує ефективне навчання, розвиток професійних навичок та підготовку студентів до реальної виробничої діяльності.

Розроблення якісних навчальних матеріалів у сфері автомобільного транспорту є ключовим елементом забезпечення високого рівня професійної підготовки фахівців. Сучасний автомобіль є високотехнологічною, складною

системою, що постійно еволюціонує (гібридні, електричні системи, системи ADAS). Це вимагає від навчальних матеріалів не лише актуальності змісту, а й застосування ефективних методичних підходів, здатних сформувати у здобувачів освіти не просто знання, а й комплексні професійні компетентності.

Методична база розроблення навчальних матеріалів повинна ґрунтуватися на принципах компетентнісного, системно-структурного та практико-орієнтованого підходів. Особлива увага приділяється впровадженню модульно-технологічної структури та інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), включаючи віртуальні симуляції, що дозволяє максимально наблизити навчальний процес до реальних умов виробництва, розвинути технічне мислення та аналітичні навички, необхідні для успішної роботи в автомобільній галузі [].

Однією з ключових вимог до сучасних навчальних матеріалів у сфері автомобільного транспорту є їх відповідність компетентнісній моделі підготовки фахівця, визначеній Державними стандартами професійної освіти. Зміст навчального посібника повинен бути спрямований не лише на передавання теоретичних знань, але й на формування практичних умінь і професійних навичок, що безпосередньо застосовуються на виробництві [22].

Орієнтація на професійні компетентності передбачає, що виклад матеріалу має забезпечувати можливість переходу від розуміння принципів роботи систем автомобіля до виконання реальних операцій, таких як діагностика, регулювання, технічне обслуговування та ремонт. Наприклад, вивчення будови двигуна внутрішнього згоряння повинно супроводжуватися відпрацюванням умінь визначати ознаки несправностей, аналізувати параметри роботи та виконувати базові технологічні операції.

Практико-орієнтований характер змісту забезпечується шляхом включення до навчального матеріалу реальних виробничих кейсів. Це можуть бути описані ситуації несправностей, журнали технічного обслуговування, результати діагностичних сканувань, технологічні задачі з визначення оптимального методу ремонту. Подібні ситуаційні завдання сприяють розвитку

оперативно-технологічного мислення і формують здатність приймати рішення в умовах невизначеності [22].

Важливим інструментом реалізації практико-орієнтованого підходу є використання технологічних карт. Технологічні карти технічного обслуговування та ремонту містять алгоритми виконання операцій, вимоги до інструментів, обладнання, контрольних параметрів та правил безпеки. Включення таких карт до навчального матеріалу забезпечує відповідність навчання умовам реального сервісного центру та формує у здобувачів професійні стандарти роботи.

Таким чином, компетентнісний та практико-орієнтований підхід забезпечує перехід від теоретичного засвоєння знань до їхнього усвідомленого та впевненого застосування у виробничих умовах, що є ключовою метою підготовки кваліфікованого фахівця автомобільної галузі.

Практико-орієнтований характер навчальних матеріалів передбачає їх таку організацію, яка дозволяє здобувачам освіти усвідомлювати автомобіль як цілісну технічну систему, де всі вузли і агрегати взаємодіють між собою. Тому важливим принципом побудови змісту посібника є системно-структурний підхід, що забезпечує логічне поєднання теоретичних знань із розумінням функціональних взаємозв'язків між елементами автомобіля.

Принцип системності викладу передбачає, що матеріал не подається у вигляді ізольованих тем (наприклад, «двигун», «гальмівна система», «електрообладнання»), а розкривається через механізми взаємодії цих систем у процесі руху автомобіля. Такий підхід сприяє формуванню у здобувачів цілісної технічної картини, що є основою для подальшої діагностики та усунення несправностей [23].

Важливим складником є забезпечення міжпредметних зв'язків [24]. Матеріал повинен органічно інтегрувати знання з:

- електротехніки (принципи дії електричних схем і сенсорів);
- фізики (теплота, тиск, тертя, електромагнетизм);
- матеріалознавства (властивості металів, полімерів, мастил);

- інженерної графіки (читання креслень і схем).

Інтеграція цих навчальних дисциплін у структуру посібника допомагає здобувачам переносити загальнотехнічні знання у професійну діяльність, що підвищує рівень усвідомленості навчання та професійну автономність.

Поряд із системним викладом доцільно застосовувати модульний підхід до організації змісту. Навчальний матеріал структурується у завершені модулі, які містять теоретичний виклад, приклади, ілюстративний матеріал, практичні завдання та контрольні питання. Модульна структура дозволяє [25]:

- оперативно оновлювати зміст (наприклад, додати модуль «Електромобілі та високовольтні системи»);
- адаптувати посібник до різних професій і рівнів кваліфікації;
- підтримувати індивідуальні освітні траєкторії.

Отже, системно-структурний підхід забезпечує глибоке розуміння технічних об'єктів, а модульність робить навчальний матеріал гнучким, актуальним і придатним до практичного використання в умовах швидкого розвитку автомобільних технологій.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ЗМІСТУ ОСНОВНОГО ТЕКСТУ НАВЧАЛЬНОГО ПОСІБНИКА

2.1 Проєктування результатів навчання з теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

На етапі створення навчального посібника одним із ключових завдань є проєктування результатів навчання, оскільки саме цей процес визначає цілеспрямованість, зміст і методичну організацію навчального матеріалу. Результати навчання виступають орієнтиром для подальшої розробки структури посібника, добору теоретичного матеріалу, формування практичних завдань і побудови системи оцінювання. Чітко сформульовані результати дають можливість узгодити навчальний матеріал з потребами здобувачів освіти та професійними вимогами майбутньої діяльності.

Особливе значення проєктування результатів навчання набуває в умовах підготовки фахівців автомобільного профілю, де навчальний процес має не лише сформувати систему знань, але й забезпечити розвиток практичних умінь та професійних навичок, необхідних для виконання робіт із технічного обслуговування та ремонту сучасної автомобільної техніки. Такий підхід відображає принципи компетентнісної освіти, у межах якої ключовим результатом є не обсяг засвоєної інформації, а здатність учня застосовувати знання для розв'язання реальних виробничих завдань.

Проєктування результатів навчання у контексті навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» має також спиратися на вимоги державних стандартів професійної освіти, які визначають зміст підготовки здобувачів освіти за професіями автомобільної галузі. Тому зміст навчального посібника має бути узгоджений зі структурою професійних

компетентностей, визначених стандартом, і спрямований на їх цілеспрямоване формування.

Окрім нормативних вимог, важливим чинником є сучасні тенденції розвитку автомобільної галузі, що характеризується прискореним впровадженням електротранспорту, інтелектуальних систем керування, технологій рекуперації та високовольтного обладнання. Це зумовлює необхідність оновлення змісту освітніх матеріалів, щоб навчання відповідало актуальному стану техніки та викликам ринку праці. Тому проектування результатів навчання має враховувати не лише базові технічні знання, але й орієнтацію на інновації та перспективні технології, які вже сьогодні визначають професійне середовище майбутніх слюсарів з ремонту транспортних засобів [11].

При проектуванні результатів навчання важливо враховувати особливості цільової аудиторії, а саме здобувачів освіти закладів професійної освіти, які опановують професію слюсаря з ремонту колісних транспортних засобів. Для цієї категорії студентів характерне поєднання теоретичного та практичного інтересу до технічних дисциплін, домінування наочно-образного та операційного типів мислення, а також потреба у чіткості й конкретності навчального матеріалу. Тому зміст навчального посібника має бути структурований таким чином, щоб забезпечувати зрозуміле та послідовне засвоєння технічних понять, а також передбачати можливість переходу від теорії до практики.

Однією з ключових освітніх потреб здобувачів професійної освіти є формування технічного мислення, яке ґрунтується на розумінні будови, взаємодії та функціонування механізмів, систем і агрегатів транспортного засобу. У контексті вивчення гібридних та електричних автомобілів це означає опанування особливостей роботи високовольтних систем, відмінностей у принципах перетворення енергії та її передавання, а також засвоєння алгоритмів функціонування систем керування енергоспоживанням.

Ще одним важливим чинником є орієнтація здобувачів на практичну діяльність, що передбачає потребу у відпрацюванні типових професійних

операцій, зокрема читання та інтерпретації електричних схем, проведення базової діагностики силових установок, виконання технічного обслуговування високовольтних компонентів. Тому навчальний посібник має містити практичні завдання, алгоритми, технологічні карти та приклади реальних виробничих ситуацій, що сприяють розвитку самостійності й професійної впевненості учнів.

Також слід врахувати, що сучасні гібридні та електричні системи є складними технічними об'єктами, робота з якими передбачає підвищені вимоги до безпеки. Тому однією з освітніх потреб є формування культури безпечної роботи з високовольтними елементами транспортного засобу, дотримання регламентів, використання засобів індивідуального захисту та послідовності операцій при обслуговуванні.

Отже, визначення освітніх потреб здобувачів професійної освіти дозволяє обґрунтовано сформулювати результати навчання та побудувати зміст навчального посібника з урахуванням пізнавальних можливостей, професійних інтересів і майбутніх виробничих завдань учнів.

Як вже зазначалося вище, проектування результатів навчання має базуватися на положеннях державних стандартів професійної освіти, які визначають цілі, зміст і вимоги до підготовки майбутніх кваліфікованих робітників [11]. Для професії 7231 «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів» стандарт передбачає формування комплексу знань і умінь, що забезпечують здатність обслуговувати, діагностувати та ремонтувати сучасні транспортні засоби. В умовах активного впровадження на ринку гібридних та електричних автомобілів цей зміст повинен бути розширений та актуалізований відповідно до нових технологічних вимог галузі.

Відповідно до професійного стандарту, здобувач освіти має вміти [11]:

- читати технічну документацію і схеми;
- визначати технічний стан систем транспортного засобу;
- проводити діагностичні та регламентні роботи;
- дотримуватися норм техніки безпеки при роботі з обладнанням.

У контексті електромобілів та гібридних силових установок ці уміння набувають нових змістових характеристик, оскільки:

- силова установка включає не лише ДВЗ, але й електродвигун та інвертор;
- джерелом енергії є високовольтні акумуляторні батареї, робота з якими вимагає спеціальних процедур відключення та захисту;
- діагностика здійснюється не лише механічними методами, а й за допомогою електронних інструментів та комп'ютерного обладнання.

Отже, зміст навчального посібника має відповідати таким вимогам:

- відображення сучасної технічної бази автомобільної галузі. Матеріал повинен включати опис реальних конструктивних рішень, що застосовуються в сучасних гібридних та електричних автомобілях (Toyota Hybrid Synergy Drive, Tesla Model 3, Nissan Leaf тощо);
- поєднання теоретичних основ з прикладним змістом. Теоретичні положення мають бути подані через їх значення для реальних виробничих процесів: діагностики, обслуговування та ремонту;
- орієнтація на формування професійних компетентностей. Зміст має спрямовуватися на розвиток умінь приймати технічні рішення в ситуаціях, що моделюють умови сервісного обслуговування;
- урахування вимог безпеки праці. Високовольтні системи потребують спеціальних процедур роботи, а отже – навчання культури безпечної експлуатації.

Таким чином, врахування вимог стандарту професії та освітньої програми визначає функціональну спрямованість навчального посібника та забезпечує його узгодженість із професійною діяльністю майбутніх фахівців автомобільного профілю.

У процесі проєктування навчального посібника важливим є чітке визначення змісту поняття «результати навчання», оскільки саме вони слугують орієнтиром для формування цілей, добору матеріалу та оцінювання досягнень здобувачів освіти. Згідно з підходами, закріпленими в державних стандартах

професійної освіти, результати навчання означають систему знань, умінь, навичок та компетентностей, які студент здатен продемонструвати після завершення навчання, і які можуть бути об'єктивно оцінені та виміряні.

У контексті навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» результати навчання повинні відображати інтегровану єдність теоретичного та практичного компонентів підготовки. Це важливо з огляду на те, що гібридні та електричні автомобілі характеризуються високою технологічністю, складністю електронних систем керування та підвищеними вимогами до безпечного виконання технічних операцій.

Результати навчання у цій темі охоплюють такі ключові складові:

- знання термінології, класифікацій, принципів роботи та будови основних компонентів гібридних і електричних силових установок;
- уміння аналізувати режими функціонування приводу, читати електричні та структурні схеми, визначати ознаки та причини можливих несправностей;
- навички виконання діагностичних та регламентних операцій із дотриманням вимог техніки безпеки при роботі з високовольтним обладнанням;
- компетентності, що забезпечують здатність приймати технічно обґрунтовані рішення у виробничих ситуаціях, користуватися сервісною документацією та професійним інструментом.

Важливо, що результати навчання мають бути сформульовані вимірювано та конкретно, тобто таким чином, щоб їх можна було перевірити через спостереження за діяльністю учня або оцінити під час виконання практичного завдання. Саме тому результати навчання пов'язуються із рівнями сформованості дій, що відображають ступінь професійної готовності здобувача освіти [26]:

- з опорою на джерело інформації (ОДІ) – виконання дій за інструкцією або під контролем;
- самостійно (С) – виконання дій без підказок;

– самостійно в автоматичному режимі (СА) – сформоване навичкове виконання професійних операцій.

Таким чином, формулювання результатів навчання дозволяє забезпечити логічну узгодженість між цілями, змістом і методикою викладання, а також створює основу для перевірки ступеня готовності майбутніх слюсарів до роботи з сучасними гібридними та електричними транспортними засобами.

Беручи до уваги наведені положення, було сформовано систему цілей та очікуваних результатів навчання з теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів», які конкретизуються через зв'язок між уміннями та необхідними для їх формування знаннями. Результати подано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати навчання студентів закладів професійної освіти будові та експлуатації гібридних та електричних автомобілів

Дидактична ціль (уміти)	Рівень сформованості дій	Дидактичні навчальні задачі (необхідно знати для формування дії)
1	2	3
Пояснювати класифікацію гібридних та електричних транспортних засобів	C	Знати: основні типи електротранспорту; класифікацію гібридних силових схем; відмінності між HEV, PHEV, BEV.
Обґрунтовувати переваги та недоліки гібридних і електричних автомобілів	C	Знати: конструктивні та експлуатаційні особливості; економічні та екологічні переваги; обмежувальні чинники (маса, вартість, зарядна інфраструктура).
Аналізувати принципи роботи гібридних силових установок	C	Знати: будову паралельних, послідовних і комбінованих гібридних схем; режими роботи приводу; передачу та рекуперацію енергії.
Характеризувати будову і функції основних компонентів гібридного приводу	C	Знати: призначення ДВЗ у гібриді; принцип роботи електродвигуна; склад тягової батареї; алгоритм рекуперації.
Характеризувати конструкцію і принцип роботи електромобіля	C	Знати: типи електродвигунів; будову і параметри тягових батарей; архітектуру системи керування електроприводом; види зарядних систем.
Читати структурні та електричні схеми гібридних і електричних авто	ОДІ	Знати: умовні графічні позначення; логіку складення електричної схеми; схеми силових та сигнальних ланцюгів; функції ключових датчиків та виконавчих механізмів.

Кінець таблиці 2.1

1	2	3
Використовувати діагностичне обладнання для аналізу стану високовольтних систем	ОДІ	Знати: призначення і можливості OBD-II та фірмових сканерів; методику зчитування DTC-кодів; структуру Live Data; індикатори несправності HV-систем.
Проводити тестування стану тягових акумуляторних батарей	ОДІ	Знати: параметри SOH/SoC; методи вимірювання напруги та опору; ознаки деградації батареї; норми виробника.
Виконувати технічне обслуговування високовольтних систем із дотриманням правил електробезпеки	СА	Знати: порядок відключення HV-систем; вимоги щодо засобів індивідуального захисту; алгоритми виконання ТО; типові ризику у роботі з високою напругою.
Діагностувати та усувати несправності електропривода та гібридної силової установки	СА	Знати: типові симптоми несправностей; методики пошуку причин; варіанти ремонтних рішень; критерії оцінки якості усунення несправностей.
Користуватися сервісними базами та електронною технічною документацією	ОДІ	Знати: структуру сервісних порталів; логіку пошуку запчастин за VIN; протоколи оновлення ПЗ; формати технічних бюлетенів.

Отже, використання навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» у процесі вивчення дисципліни «Спецтехнологія» спрямоване на формування в студентів закладів професійної освіти здатності розуміти принципи роботи гібридних та електричних силових установок, аналізувати їхню конструкцію та взаємодію елементів, а також здійснювати базові операції з технічного обслуговування та діагностування. Змістове наповнення посібника має забезпечувати послідовне оволодіння знаннями про типи гібридних силових схем, конструктивні особливості електродвигунів та тягових акумуляторних батарей, принципи рекуперації енергії, специфіку експлуатації та особливості безпечної роботи з високовольтними системами.

2.2 Аналіз навчальних програм і підручників з автомобільного транспорту

Аналіз навчальних програм та підручників є важливим етапом при розробленні навчального посібника, оскільки дозволяє визначити, наскільки існуючі навчально-методичні матеріали відповідають сучасним вимогам професійної освіти та тенденціям розвитку автомобільної галузі. Даний аналіз дає можливість встановити, які аспекти теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» вже представлені у навчальному контенті, а які потребують розширення, уточнення або переосмислення.

У процесі вивчення державних стандартів професійної освіти за професією 7231 «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів» та аналізу робочих навчальних програм спецдисциплін було встановлено, що питання, пов'язані з гібридними та електричними транспортними засобами, представлені переважно фрагментарно та інтегруються у складі загальних тем, присвячених електрообладнанню або системам керування автомобілем. Матеріал має, як правило, оглядовий характер і подається у вигляді коротких довідкових відомостей про принципи функціонування електродвигуна або призначення тягового акумулятора, без системного розкриття конструкційної специфіки, особливостей керування силовими потоками, режимів роботи та методів діагностування. Це не забезпечує формування цілісного уявлення про архітектуру гібридних та електричних силових установок і не сприяє набуттю практичних умінь, необхідних для виконання обслуговування і ремонту таких автомобілів.

Окремо слід відзначити, що в програмах практично відсутня деталізація питань, пов'язаних із тяговими акумуляторами: хімічним складом та будовою осередків, механізмами деградації, методами визначення залишкового ресурсу, контролем стану заряду та стану здоров'я батареї. Високовольтна архітектура автомобіля також розглядається поверхово: не описуються структурні схеми HV-ланцюгів, системи реле та контактів, логіка системи захисту, вимоги до

ізоляції, технології відключення високовольтних контурів перед обслуговуванням. Поза увагою майже повністю залишається силова електроніка, зокрема принципи роботи інвертора та DC-DC перетворювачів, алгоритми управління електродвигуном, методи діагностики типових несправностей інверторних систем.

Важливою прогалиною є відсутність системного пояснення взаємодії двигуна внутрішнього згорання та електродвигуна у гібридних силових установках. Навчальні матеріали не описують алгоритми розподілу потужності, режими рекуперації енергії гальмування, стратегії перемикання між джерелами тяги, що є ключовими для розуміння конструктивної та функціональної специфіки гібридних автомобілів. Недостатньо уваги приділено питанням терморегуляції, хоча саме порушення теплових режимів є однією з найпоширеніших причин аварійності високовольтних систем і деградації акумуляторів.

Практична підготовка також має виражений характер недостатності. Переважна більшість програм не передбачає відпрацювання процедур безпечного відключення високовольтних систем, виконання діагностичних операцій із застосуванням сканерів і програмного забезпечення, аналізу живих параметрів (Live Data), створення технологічних карт технічного обслуговування. Відсутність лабораторних тренажерів, стендів і моделювання несправностей призводить до того, що знання залишаються теоретичними і не трансформуються в уміння.

Наслідками такої ситуації є фрагментарне засвоєння матеріалу, недостатня готовність здобувачів освіти до роботи з гібридними та електромобілями в умовах реального сервісу, підвищення ризику допущення помилок при виконанні обслуговування високовольтних систем, що може мати серйозні безпекові наслідки. Водночас сучасний ринок праці все частіше висуває вимоги до фахівців із навичками роботи із силовою електронікою, діагностикою високовольтних ланцюгів, налаштуванням програмного

забезпечення і калібруванням систем, що безпосередньо пов'язано з електромобільністю.

Подібна ситуація спостерігається і в наявних підручниках та посібниках з автомобільного транспорту. Аналіз змістового наповнення підручників В. Кисликова і В. Лущика «Будова й експлуатація автомобілів» [27], В. Сироти «Основи конструкції автомобілів» [28] та навчальних посібників під редакцією Ю. Боровських [29], М. Іваценка [30], що використовуються у закладах професійної освіти, свідчить про їхню орієнтацію переважно на традиційну конструкцію автомобіля з двигуном внутрішнього згорання. У цих виданнях основну частину навчального матеріалу складають питання будови, принципів роботи та технічного обслуговування двигуна внутрішнього згорання, механічної трансмісії, ходової частини, гальмівної системи, рульового керування та базового електрообладнання автомобіля. Матеріал структурований послідовно, з чітким описом конструктивних елементів та функціональних зв'язків між ними, що сприяє формуванню ґрунтовного розуміння класичних автомобільних систем.

Водночас розгляд гібридних та електричних транспортних засобів у цих підручниках носить оглядовий, фрагментарний і вторинний характер. Зазвичай він обмежується короткими описами загальних принципів роботи електричного приводу, призначення тягової батареї або загальної ідеї рекупераційного гальмування. Відсутні повноцінні розділи, що розкривають будову тягових акумуляторних батарей сучасного типу, зокрема літій-іонних, питання деградації комірок, контролю стану заряду й стану здоров'я батареї, особливості систем терморегуляції та вплив теплових режимів на ресурс. Не розкрито питання високовольної архітектури, включаючи структуру силових ланцюгів, системи комутації, електричну ізоляцію, алгоритми захисту від короткого замикання та перевантаження. Відсутній розгорнутий опис принципів роботи та діагностики інверторів, перетворювачів постійного та змінного струму, а також системи керування електричним двигуном.

Матеріали не містять змістового пояснення взаємодії двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна у гібридних установках, не розкриваються режими розподілу потужності, алгоритми перемикання між джерелами енергії та принципи рекупераційного гальмування. Також майже повністю відсутні питання технічної та пожежної безпеки під час роботи з високовольтними системами, що має ключове значення у практичній професійній підготовці. Практична складова у згаданих виданнях орієнтована переважно на обслуговування традиційних механічних агрегатів і не включає покрокових технологічних карт для операцій з гібридними та електричними автомобілями, зокрема процедур безпечного відключення високовольтної системи, діагностики тягової батареї або перевірки стану силової електроніки.

Таким чином, ці підручники забезпечують надійну базу для вивчення будови автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння, проте не формують повноцінного розуміння конструкції, принципів роботи та методів технічного обслуговування гібридних та електричних автомобілів.

Отже, проведений аналіз засвідчує необхідність створення навчального посібника, що забезпечить цілісне та послідовне розкриття будови, принципів функціонування та особливостей експлуатації гібридних та електричних автомобілів, а також сприятиме формуванню практичних компетентностей відповідно до актуальних потреб галузі та сучасних стандартів професійної освіти. Це вимагає систематизації змісту, поглиблення технічної деталізації, розроблення комплексу практичних і лабораторних робіт, а також включення обов'язкового блоку з правил безпечної роботи з високовольтним обладнанням.

2.3 Компонування інформаційного поля та формування дидактичних одиниць навчального матеріалу

Компонування інформаційного поля є ключовим етапом у проектуванні навчального посібника, оскільки саме на цьому етапі визначається структура змісту, логіка його подання та внутрішні дидактичні зв'язки. Компонування змісту вимагає, по-перше, врахування структурної складності сучасних силових установок гібридних та електричних автомобілів, які представляють собою інтегровані системи з тісними взаємозв'язками між механічними, електричними, електронними та програмними компонентами. Тому інформаційне поле має будуватися не за ізоляційним (дискретним) принципом, коли окремі системи розглядаються незалежно одна від одної, а за системно-структурною логікою, що дає можливість показати взаємозумовленість і функціональну єдність усіх компонентів силової установки.

По-друге, підбір змісту має орієнтуватися на компетентнісну спрямованість навчання. Це означає, що матеріал не повинен обмежуватися лише описом конструкції або принципів роботи вузлів, а повинен привести здобувача освіти до володіння практичними діями – діагностування, технічного обслуговування, контролю працездатності та безпечного поводження з високовольтними системами. Тому формування змісту потребує включення не лише теоретичних положень, але й операційних алгоритмів, технологічних карт, інструкцій з безпечної експлуатації та прикладів реальних виробничих ситуацій.

Формування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» здійснювалося на підставі результатів навчання, сформульованих у пункті 2.1, та аналізу навчальних програм і наявних підручників (пункт 2.2). На початковому етапі було створено інформаційне поле, яке охоплює відібрані матеріали з підручників, навчальних

посібників та інших джерел, що стануть основою для подальшого представлення у посібнику.

З цією метою проведено аналіз літератури з тематики будови автомобіля, включаючи наукові статті, навчально-методичні видання та ресурси мережі Інтернет [27 – 38]. На основі цього аналізу відібрано ті положення, які після відповідної дидактичної адаптації можуть бути використані як навчальний контент.

Наступним етапом став структурний аналіз зібраної інформації, що дозволив виокремити ключові компоненти: теоретичні положення, основні та другорядні факти, узагальнення, висновки тощо. Такий підхід забезпечив логічне компонування матеріалу, сприяючи його ефективному засвоєнню здобувачами освіти.

Після аналізу інформаційного поля здійснено його поділ на дидактичні одиниці – «логічно незалежні дози навчальної інформації, які зберігають властивості навчального об'єкта» [39]. Цей процес є важливим для оптимального представлення змісту, що полегшує його сприйняття та засвоєння.

Кожна дидактична одиниця має бути автономною, розкривати окремий аспект теми, включати необхідні теоретичні положення, приклади, завдання для самостійної роботи та інші елементи, що сприяють формуванню практичних навичок. При цьому важливо дотримуватися логічної послідовності розміщення одиниць, що забезпечує поступовий перехід від базових понять до складніших концептів.

Крім того, кожна одиниця повинна відповідати загальним дидактичним принципам – системності, доступності та наочності – що є запорукою ефективного навчального процесу. На основі аналізу джерел [27 – 38] було сформовано 20 дидактичних одиниць, які лягли в основу змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів».

ДО1 Історія розвитку електротранспорту

ДО2 Класифікація сучасних екологічних транспортних засобів

- ДО3 Порівняльний аналіз ДВЗ, гібридних і електричних автомобілів
- ДО4 Переваги та недоліки гібридного та електричного транспорту
- ДО5 Екологічні аспекти експлуатації
- ДО6 Загальна будова та класифікація гібридних систем
- ДО7 Послідовна схема гібридного автомобіля
- ДО8 Паралельна схема гібридного автомобіля
- ДО9 Послідовно-паралельна схема гібридного автомобіля
- ДО10 Особливості конструкції транспортного засобу з мотор-генератором
- ДО11 Основні компоненти електромобіля
- ДО12 Принцип роботи електродвигуна в електромобілі
- ДО13 Енергетичний блок електромобіля: акумулятор і зарядні пристрої
- ДО14 Запас ходу електромобілів: фактори, що впливають
- ДО15 Популярні моделі електромобілів
- ДО16 Особливості ТО електромобілів у порівнянні з ДВЗ
- ДО17 Технічне обслуговування гібридних автомобілів
- ДО18 Обслуговування акумуляторних батарей
- ДО19 Діагностика та усунення несправностей електропривода
- ДО20 Програмне оновлення та калібрування систем електромобіля

Таким чином, формування дидактичних одиниць дозволяє перетворити зміст навчального посібника на системно організовану, доступну для сприйняття та професійно спрямовану навчальну модель, яка забезпечує досягнення визначених результатів навчання.

2.4 Побудова структурно-сміслової моделі та визначення логічної послідовності викладу матеріалу

Після визначення дидактичних одиниць постає завдання впорядкування навчального матеріалу таким чином, щоб забезпечити поступове й осмислене формування знань, умінь та навичок учнів. Для цього здійснюється структурування навчального матеріалу та розробляється структурно-сміслова модель теми, яка відображає внутрішні логічні зв'язки між елементами змісту, їхню послідовність та дидактичну роль у загальному процесі навчання.

У дидактичному та методичному контексті структурування навчального матеріалу розглядається як цілеспрямований процес упорядкування його змістових компонентів – понять, законів, ідей, принципів, способів їх передання учням, а також дій здобувачів освіти, спрямованих на засвоєння знань. Цей процес передбачає встановлення логічних, змістових і функціональних зв'язків між елементами навчального контенту, що відповідають фундаментальним принципам педагогіки та дидактики [39].

Структурування виконує не лише організаційну, а й концептуальну функцію, оскільки забезпечує узгодженість між змістом навчального матеріалу та очікуваними результатами навчання. Воно сприяє формуванню цілісного уявлення про навчальну тему, дозволяє оптимізувати послідовність подання інформації, забезпечити її доступність, логічність і наукову обґрунтованість.

Особливе значення в процесі структурування надається таким дидактичним принципам, як:

- принцип наступності та перспективності, що забезпечує поступовий перехід від простих до складних понять, формуючи основу для довготривалого засвоєння знань і розвитку компетентностей;
- принцип науковості, який гарантує відповідність навчального матеріалу сучасному рівню наукових знань і технологічного розвитку;

– принцип інтеграції, що передбачає взаємозв'язок між окремими поняттями, законами та теоріями, сприяючи формуванню системного мислення;

– принцип етапності, який орієнтує на поетапне формування загальних, інтегральних і спеціальних (фахових) компетентностей, відповідно до освітніх цілей і професійних стандартів.

Таким чином, структурування змісту навчального матеріалу є ключовим етапом у розробці ефективної навчальної стратегії, що забезпечує не лише логічну організацію знань, а й їх дидактичну придатність для формування компетентного фахівця.

Структурування навчального матеріалу є ключовим дидактичним інструментом, що забезпечує логічну організацію змісту та його внутрішню узгодженість. У процесі структурування окремі елементи навчального контенту – поняття, положення, закономірності, методи та форми їх подання – об'єднуються у цілісну систему, де кожна складова має чітко визначене місце і функцію. Така взаємозв'язана побудова сприяє глибшому розумінню матеріалу, полегшує його сприйняття та засвоєння здобувачами освіти.

Одним із основних завдань структурування є створення логічної послідовності викладу, яка передбачає перехід від загальних, базових понять до конкретних, спеціалізованих знань. Це дозволяє забезпечити поступове занурення учнів у навчальну тему – від фундаментальних теоретичних положень до прикладних аспектів і практичних завдань. Такий підхід відповідає принципу поетапного формування компетентностей, де кожен наступний етап спирається на попередній, розширюючи і поглиблюючи знання.

У результаті структурування навчальний посібник набуває чіткої, зручної для використання форми, що оптимізує його інтеграцію в освітній процес. Це сприяє досягненню навчальних цілей, забезпечує системність і логічність викладу, а також підвищує ефективність навчання завдяки узгодженості між змістом, формами подання та очікуваними результатами.

Процес структурування навчального матеріалу передбачає встановлення системи смислових і логічних зв'язків між його складовими – поняттями,

темами, модулями, розділами – та їх упорядкування відповідно до цієї системи. Така організація змісту дозволяє сформувати цілісну, логічно побудовану структуру, яка відображає основні етапи навчального процесу та сприяє ефективному засвоєнню знань і формуванню компетентностей [39].

Структурування виконує функцію когнітивного навігатора, що забезпечує учням доступність і зрозумілість навчального матеріалу. Завдяки чітко визначеній послідовності викладу, яка базується на внутрішній логіці взаємозв'язків між елементами змісту, навчальний посібник стає не лише зручним у використанні, а й дидактично ефективним. Це сприяє глибшому сприйняттю інформації, її систематизації та перенесенню знань у практичну площину.

У процесі структурування важливо:

- визначити ключові параграфи та теми, які становлять основу навчального курсу;
- встановити оптимальну послідовність їх вивчення, що відповідає логіці нарощування складності та взаємозв'язку понять;
- забезпечити ієрархічне розташування теоретичних положень – від загальних до спеціалізованих;
- інтегрувати практичні завдання, приклади, кейси, що сприяють розвитку професійних навичок, критичного мислення та творчих здібностей.

Таким чином, структурування є не лише технічною процедурою, а й методично обґрунтованим етапом розробки навчального посібника, що забезпечує його відповідність сучасним освітнім вимогам і сприяє досягненню очікуваних результатів навчання.

Розробка структурно-сміслової моделі змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» здійснюється із застосуванням графоаналітичного методу структурування [40]. Цей метод дозволяє не лише систематизувати навчальний матеріал, а й візуалізувати його логічну структуру у вигляді орієнтованого графа, що демонструє взаємозв'язки між окремими дидактичними одиницями. Такий підхід забезпечує чітке

визначення послідовності викладу, сприяє логічному упорядкуванню змісту та значно полегшує процес засвоєння знань здобувачами освіти.

На першому етапі побудови моделі здійснюється формування множини понять, що становлять змістову основу навчального посібника. Це передбачає поділ інформаційного поля теми на окремі дидактичні одиниці, які були попередньо визначені, дидактично оброблені та структуровані в попередньому параграфі роботи. У межах даного дослідження було виокремлено 20 дидактичних одиниць, що охоплюють ключові аспекти теми та забезпечують її комплексне розкриття.

Другий етап передбачає побудову графа взаємозв'язків між дидактичними одиницями. Для цього застосовується евристичне запитання: «Чи є засвоєння матеріалу однієї одиниці (наприклад, ДО1) необхідною умовою для ефективного опанування іншої (наприклад, ДО3)?». Якщо відповідь є позитивною, між відповідними одиницями встановлюється спрямований зв'язок – стрілка від ДО1 до ДО3, що вказує на пріоритетність першої одиниці як базової для засвоєння другої.

Аналогічний аналіз проводиться для всіх інших дидактичних одиниць, що дозволяє сформувати повну картину логічних залежностей між елементами навчального матеріалу. У результаті формується графоаналітична модель, яка відображає ієрархію понять, послідовність їх вивчення та дидактичну логіку викладу. Така модель відповідає принципам науковості, системності, наступності та доступності, що є фундаментальними для сучасної педагогіки.

Застосування графоаналітичного методу дозволяє [40]:

- виявити ключові опорні знання, необхідні для подальшого навчання;
- визначити оптимальну траєкторію засвоєння матеріалу;
- забезпечити логічну узгодженість між теоретичними положеннями та практичними завданнями;
- створити зручну навігаційну структуру для користувачів навчального посібника – як викладачів, так і здобувачів освіти.

Граф взаємозв'язків між поняттями навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» показано на рисунку 2.1.

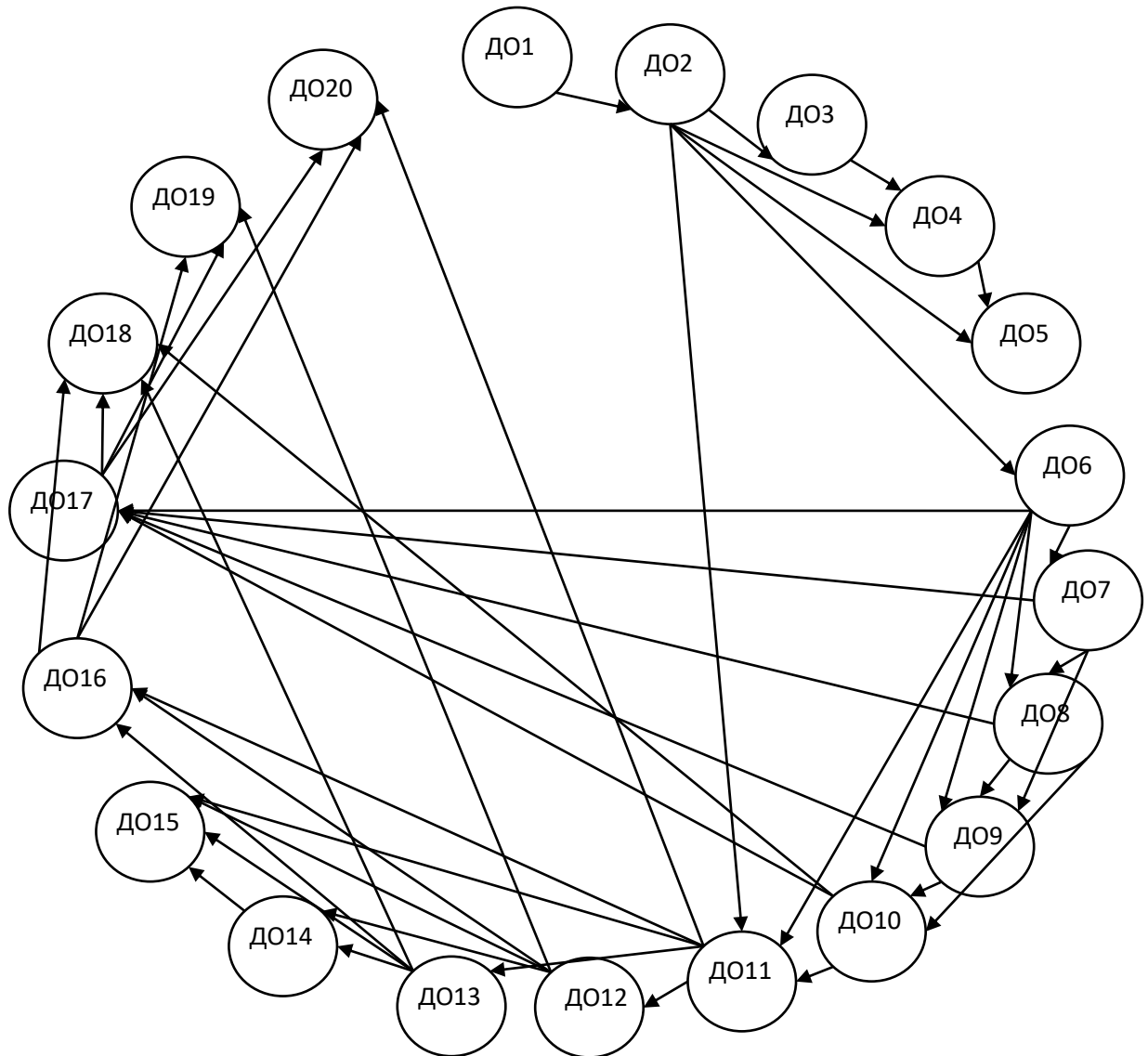


Рисунок 2.1 – Граф взаємозв'язків між поняттями навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

Після побудови графа взаємозв'язків між дидактичними одиницями проводимо його аналіз з метою виявлення потенційно проблемних структур, таких як замкнені контури та ізольовані (автономні) вершини. Замкнені контури – це циклічні зв'язки між кількома дидактичними одиницями, коли кожна з них залежить від іншої, утворюючи логічне коло. У такій ситуації неможливо однозначно визначити, з якої одиниці слід починати вивчення, що

призводить до порушення навчальної логіки та ускладнює процес засвоєння знань. Наявність таких контурів свідчить про потребу в уточненні ієрархії понять або в перегляді послідовності подання матеріалу. Автономні вершини – це дидактичні одиниці, які не мають жодного зв'язку з іншими елементами графа. Їхня ізольованість може свідчити про відсутність інтеграції в загальну структуру курсу, що ставить під сумнів їхню функціональну необхідність. Якщо така одиниця не підтримує логічного переходу до інших тем або не спирається на попередні знання, її доцільність у навчальному посібнику потребує критичного переосмислення.

Аналіз побудованого графа засвідчив, що замкнених контурів та автономних вершин у структурі не виявлено. Усі дидактичні одиниці перебувають у логічних змістових зв'язках, утворюють послідовну ієрархію та забезпечують узгоджену логіку переходів між темами. Це свідчить про коректність розробленої структури й підтверджує її дидактичну цілісність.

Таким чином, аналіз графа взаємозв'язків дозволяє:

- виявити потенційні критичні точки у структурі змісту;
- забезпечити логічну послідовність і взаємозалежність тем;
- оптимізувати маршрут навчання для досягнення максимального дидактичного ефекту;
- уникнути дублювання змісту та надмірної взаємозалежності між темами.

На наступному етапі здійснюється формалізація встановлених зв'язків шляхом побудови матриці взаємозалежностей між дидактичними одиницями. Заповнення матриці (див. таблиця 2.2) відбувається поетапно: усі логічні зв'язки, що відображені стрілками на графі, переносяться у відповідні клітини. Якщо існує залежність від одиниці, що розташована у рядку (наприклад, ДО1), до одиниці у стовпці (наприклад, ДО3), у клітинку на перетині цих координат ставиться «1», що вказує на те, що ДО1 є базовою для засвоєння ДО3. Це забезпечує можливість подальшого кількісного аналізу структури та визначення оптимальної логіки подання навчального матеріалу.

Таблиця 2.2 – Матриця зв'язків між дидактичними одиницями основного тексту навчального посібника

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Wb	
1		1																				1
2			1	1	1	1					1											5
3				1																		1
4					1																	1
5																						0
6							1	1	1	1	1						1					6
7								1	1	1							1					4
8									1	1							1					3
9										1							1					2
10																	1	1				2
11												1	1			1	1				1	5
12														1	1	1			1			4
13														1	1	1		1	1			5
14															1							1
15																						0
16																		1	1	1	1	3
17																		1	1	1	1	3
18																						0
19																						0
20																						0
Wa0	0	1	1	2	2	1	1	2	3	4	2	1	1	2	4	3	5	4	4	3		Шар 0
Wa1		0	1	2	2	1	1	2	3	4	2	1	1	2	4	3	5	4	4	3		Шар 1
Wa2			0	1	1	0	1	2	3	4	1	1	1	2	4	3	5	4	4	3		Шар 2
Wa3				0	1		0	1	2	3	0	1	1	2	4	3	4	4	4	3		Шар 3
Wa4					0			0	1	2		0	0	2	3	2	3	4	4	2		Шар 4
Wa5									0	1				0	1	0	2	3	2	2		Шар 5
Wa6										0					0		1	2	1	1		Шар 6
Wa7																	0	1	1	1		Шар 7
Wa8																		0	0	0		Шар 8

Після заповнення матриці здійснюється підрахунок сум по рядках і стовпцях. Сума по рядку показує кількість вихідних зв'язків – тобто, скільки інших одиниць залежать від даної. Сума по стовпцю, навпаки, демонструє кількість вхідних зв'язків – скільки одиниць є передумовами для засвоєння даної.

На основі цих підрахунків формуються два вектори: Wa і Wb . Вектор Wa складається із сум по рядках і показує, наскільки кожна одиниця є джерелом знань для інших. Вектор Wb формується із сум по стовпцях і демонструє, наскільки кожна одиниця залежить від попередніх.

Аналіз отриманих значень дозволяє виявити логічні дисбаланси у структурі навчального матеріалу. Високі значення у Wa свідчать про

фундаментальність одиниці, а високі значення у Wb – про її залежність. Нульові значення можуть вказувати на ізолюваність або надмірну автономність, що потребує перегляду доцільності включення таких одиниць у загальну структуру.

Розгортання вектора Wa на шари є наступним етапом побудови логічної ієрархії змісту навчального посібника. Цей процес дозволяє визначити послідовність засвоєння дидактичних одиниць, починаючи з базових понять і поступово переходячи до більш складних, які ґрунтуються на попередніх.

У якості нульового шару приймається вектор $V(0)$, який містить індекси тих дидактичних одиниць, що мають нульову кількість вихідних зв'язків у векторі Wa_0 . Це означає, що ці одиниці не є базовими для жодної іншої – вони самодостатні й можуть вивчатися першими. Наприклад, якщо $Wa_0 = (0, 2, 1, 0)$, то $V(0) = (ДО1, ДО4)$.

Для побудови першого шару використовується формула:

$$Wa_1 = Wa_0 - Wb_1 \quad (2.1)$$

де: Wa_1 – допоміжний вектор, що враховує зменшення кількості вихідних зв'язків після вилучення нульового шару; Wb_1 – вектор, який дорівнює сумі рядків матриці, що відповідають індексам елементів з $V(0)$, тобто тих дидактичних одиниць, які вже включено до попереднього шару.

Після обчислення Wa_1 визначаються нові нульові елементи – це ті, для яких значення у Wa_1 дорівнює нулю. Їхні індекси формують вектор $V(1)$ – перший шар логічної ієрархії.

Аналогічно, для побудови наступних шарів ($V(2)$, $V(3)$, ..., $V(n)$) використовується рекурсивна схема:

$$Wa_{\{k+1\}} = Wa_k - Wb_{\{k+1\}}$$

де $Wb_{\{k+1\}}$ – вектор, утворений шляхом підсумовування рядків матриці, що відповідають індексам елементів з $V(k)$.

Процес повторюється доти, доки всі дидактичні одиниці не будуть розподілені по шарах. Кожен наступний шар містить ті одиниці, які стають доступними для вивчення після засвоєння попередніх.

В результаті ми розбити всю множину дидактичних одиниць навчального матеріалу на 9 шарів:

Шар 0: $V(0) = (ДО1)$;

Шар 1: $V(1) = (ДО2)$;

Шар 2: $V(2) = (ДО3, ДО6)$;

Шар 3: $V(3) = (ДО4, ДО7, ДО11)$;

Шар 4: $V(4) = (ДО5, ДО8, ДО12, ДО13)$;

Шар 5: $V(5) = (ДО9, ДО14, ДО16)$

Шар 6: $V(6) = (ДО10, ДО15)$

Шар 7: $V(7) = (ДО17)$

Шар 8: $V(8) = (ДО18, ДО19, ДО20)$

На наступному етапі укладання навчального матеріалу для посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» формується структурно-смілова модель, що має вигляд шарово-паралельної структури (див. рисунок 2.2). Вона демонструє розташування дидактичних одиниць у відповідних шарах, визначених попереднім аналізом, та відображає їхні взаємозв'язки за допомогою стрілок.

Кожен шар у такій моделі відповідає певному рівню навчального змісту, де елементи розміщені так, щоб показати їхню логічну та функціональну взаємопов'язаність. Стрілки між елементами ілюструють, як одні поняття стають основою для засвоєння інших, забезпечуючи послідовність та взаємодію між різними частинами матеріалу. Це створює цілісне уявлення про організацію змісту та визначає оптимальний порядок його вивчення для досягнення високої ефективності навчального процесу.

Побудова такої моделі дає змогу викладачам і здобувачам освіти чітко бачити структуру матеріалу, виділяти ключові елементи та готуватися до подальшого опрацювання й засвоєння знань у логічній послідовності.

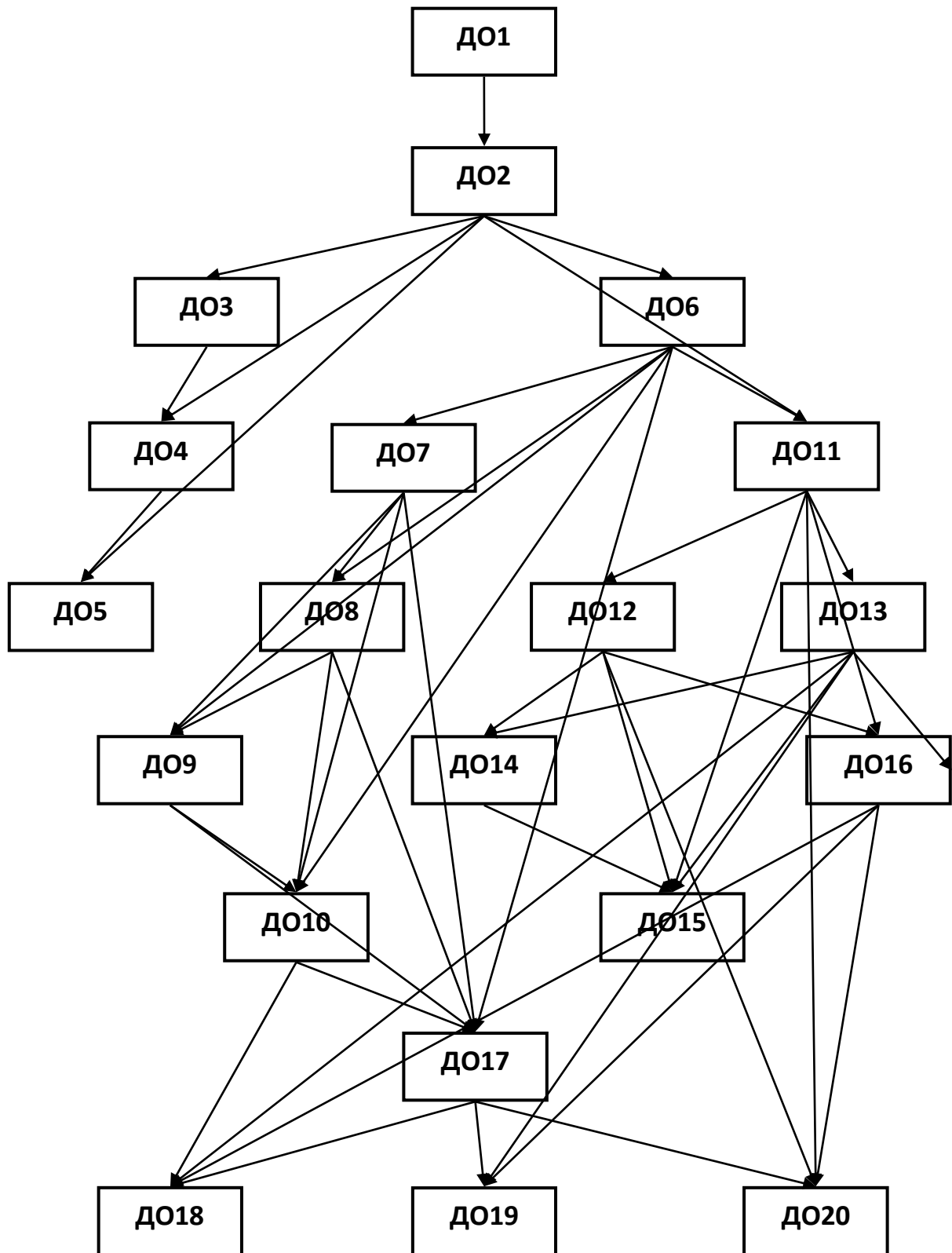


Рисунок 2.2 – Структурно-сміслова модель змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

Аналіз структурно-сислової моделі дозволяє визначити чітку послідовність розташування тем у тексті навчального посібника. Це включає виявлення ключових точок, на яких базується подання змісту, а також встановлення взаємозв'язків, які мають значення для глибшого розуміння навчального матеріалу. Модель також допомагає розставити акценти та підготувати навчальний посібник таким чином, щоб уся інформація подавалася в логічному порядку і відповідала вимогам навчання та засвоєння знань студентами.

В результаті цього етапу було визначено оптимальну послідовність тем у навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» (рисунок 2.3).

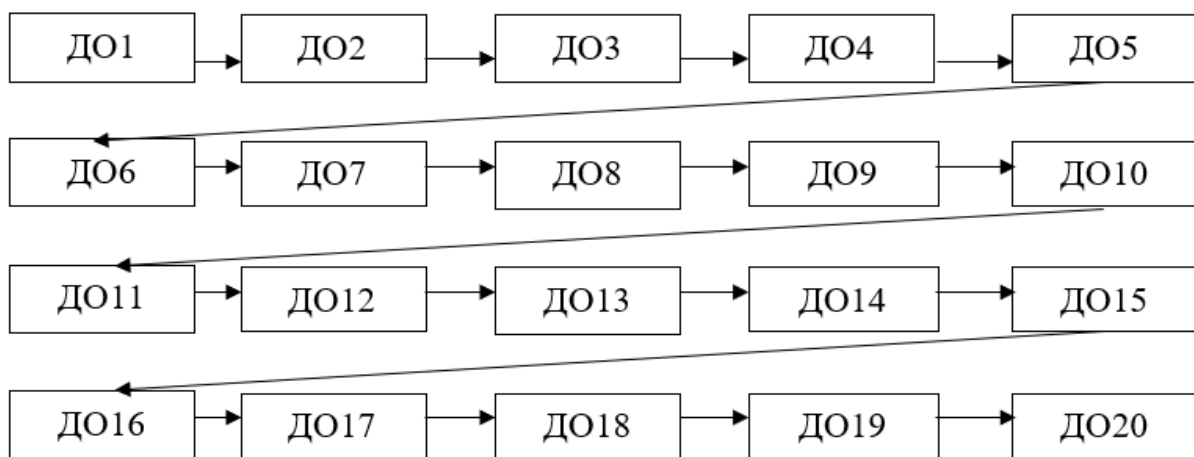


Рисунок 2.3 – Логічний ланцюжок оптимального викладу змісту теми «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

На першому етапі вивчається історичний розвиток електротранспорту, класифікація його видів та порівняння з транспортними засобами на базі двигунів внутрішнього згоряння. Це створює уявлення про доцільність використання гібридних і електричних технологій, їх екологічний та економічний ефект.

Наступним логічним блоком є будова та принцип роботи гібридних автомобілів. Послідовність подання матеріалу передбачає спочатку ознайомлення з типами гібридних силових установок, потім – з конструкцією

ДВЗ у гібридній конфігурації, електродвигуна, тягової батареї та систем рекуперації. Це дозволяє сформувавши цілісне уявлення про взаємодію компонентів енергетичної системи та шляхи розподілу енергії під час руху.

Після засвоєння гібридних технологій відбувається логічний перехід до електромобілів, де розглядаються типи електричних двигунів, системи керування електроприводом, конструктивні особливості батарей та інфраструктура заряджання. Така послідовність є обґрунтованою, оскільки електромобіль у своїй структурі є логічним продовженням та спрощенням гібридної силової установки, але з більш розвинутою системою акумуляторного енергозабезпечення.

Завершальним блоком виступають питання технічного обслуговування та ремонту, оскільки саме вони забезпечують готовність майбутнього фахівця застосовувати отримані знання в практичній діяльності. Послідовність матеріалу спрямована на формування умінь діагностувати несправності, виконувати профілактичні операції та використовувати програмне забезпечення для налаштування систем.

Таким чином, структурно-сміслова модель теми забезпечує логічну та дидактично обґрунтовану послідовність переходу від теоретичних основ до формування професійних умінь, що дозволяє ефективно реалізувати компетентнісний підхід у підготовці майбутніх фахівців із ремонту та технічного обслуговування автомобілів.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ НАВЧАЛЬНОГО ПОСІБНИКА

3.1 Визначення структури та укладання змісту навчального посібника

Проектування структури навчального посібника є ключовим етапом його розроблення, оскільки саме від правильно вибудованої логіки викладу залежить ефективність сприймання матеріалу та формування професійних компетентностей у здобувачів освіти. Структура навчального видання регламентується низкою державних стандартів, методичних рекомендацій та освітніх вимог, що визначають логіку побудови текстового, ілюстративного та довідкового матеріалу. Зокрема, при укладанні навчальних посібників необхідно керуватися вимогами ДСТУ 3008:2015 щодо структури та оформлення науково-технічної документації, ДСТУ 7157:2010 щодо загальних характеристик видань, а також державними стандартами професійної (професійно-технічної) освіти, які визначають цілі та результати навчання для відповідних професій. Структура посібника повинна бути побудована таким чином, щоб забезпечити цілісність, логічну послідовність і практичну спрямованість викладу.

Навчальне видання традиційно включає три основні блоки. Перший – вступний, який містить титульну сторінку, анотацію, зміст, передмову та перелік умовних позначень. Ці елементи забезпечують ідентифікацію видання, орієнтують читача у структурі посібника та визначають його цільове призначення. Зміст, відповідно до вимог ДСТУ, має відображати повну структуру видання та робити його використання зручним для здобувачів освіти й педагогів [19].

Основна частина є центральним елементом навчального видання, у якому подається змістовий матеріал, відповідний до навчальної програми. Вона повинна відзначатися науковою коректністю, доступністю та системністю

викладу, що відповідає принципам дидактики та вимогам компетентнісного підходу [20]. Зміст окремих розділів має подаватися за принципом від простого до складного, з урахуванням логіки навчальної програми й особливостей майбутньої професійної діяльності здобувачів освіти. Важливими вимогами є наявність у тексті візуалізацій (схем, графіків, креслень, фотографій), прикладів, виробничих ситуацій, інструкцій, що сприяють розвитку практичного мислення, а також включення запитань для самоконтролю та узагальнень наприкінці кожного розділу.

Заключний блок навчального видання включає список використаних джерел, глосарій, додатки та інші довідкові матеріали. Список літератури має бути оформлений згідно з ДСТУ 8302:2015 [41], а додатки – містити матеріали, що розширюють можливості практичного застосування знань: технологічні карти, інструкції виробників, розширені схеми або таблиці. Наявність глосарію особливо актуальна для технічних спеціальностей, адже забезпечує правильне розуміння спеціальної термінології, що відповідає рекомендаціям щодо формування професійної мовної компетентності [20].

Загалом структура навчального посібника має забезпечувати відповідність змісту вимогам державних стандартів професійної освіти, а також сучасним тенденціям розвитку автомобільної галузі. Згідно з науково-методичною літературою, ефективно навчальне видання повинно поєднувати теоретичний матеріал із практичними завданнями, містити елементи інтерактивного та проблемного навчання, а також сприяти формуванню професійних компетентностей, необхідних для реальної виробничої діяльності майбутнього фахівця [20]. Відповідно, укладач навчального посібника має враховувати як педагогічні вимоги, так і особливості навчального середовища у закладах професійної освіти.

Перейдемо безпосередньо до розробки основних структурних компонентів навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів». Зразок титульного аркуша даного посібника представлений на рисунку 3.1.

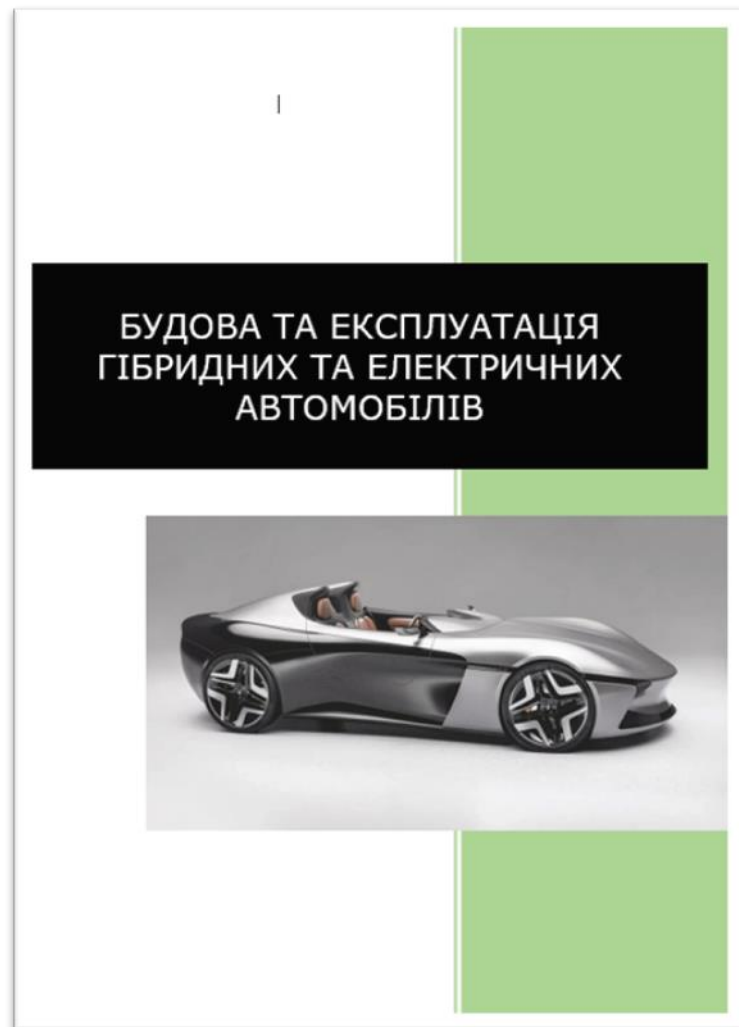


Рисунок 3.1 – Титульний аркуш навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

Побудова структури навчального посібника передбачає виокремлення змістових модулів, що охоплюють основні аспекти вивчення будови, принципів функціонування, експлуатації та технічного обслуговування гібридних і електричних транспортних засобів. Формування змісту здійснюється з урахуванням принципів науковості, системності, наступності та практичної орієнтації.

На початковому етапі визначено загальний тематичний каркас, який включає матеріали, що формують базові уявлення про електромобільність як актуальний напрям розвитку автомобільної галузі. Структура розділів побудована таким чином, щоб забезпечити поступовий перехід від загальних понять до складних технічних систем і прикладних аспектів обслуговування.

Зміст навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» сформовано відповідно до вимог, визначених під час аналізу навчальних програм, результатів навчання та дидактичних одиниць (п. 2.1–2.3). Основний текст посібника структуровано на п'ять змістових розділів, кожен з яких охоплює певний аспект вивчення конструкції, принципів роботи, особливостей експлуатації та технічного обслуговування сучасних гібридних та електричних транспортних засобів (рисунок 3.2).

ВСТУП
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГІБРИДНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ
1.1. Історія розвитку електротранспорту
1.2. Класифікація сучасних екологічних транспортних засобів
1.3. Порівняльний аналіз ДВЗ, гібридних і електричних автомобілів
1.4. Переваги та недоліки гібридного та електричного транспорту
1.5. Екологічні аспекти експлуатації
Блок самоконтролю
РОЗДІЛ 2. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ
2.1. Загальна будова та класифікація гібридних систем
2.2. Послідовна схема гібридного автомобіля
2.3. Паралельна схема гібридного автомобіля
2.4. Послідовно-паралельна схема гібридного автомобіля
2.5. Особливості конструкції транспортного засобу з мотор-генератором
Блок самоконтролю
РОЗДІЛ 3. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ
3.1. Основні компоненти електромобіля
3.2. Принцип роботи електродвигуна в електромобілі
3.3. Енергетичний блок електромобіля: акумулятор і зарядні пристрої
3.4. Запас ходу електромобілів: фактори, що впливають
3.5. Популярні моделі електромобілів
Блок самоконтролю
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ГІБРИДНИХ І ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ
4.1. Особливості ТО електромобілів у порівнянні з ДВЗ
4.2. Технічне обслуговування гібридних автомобілів
4.3. Обслуговування акумуляторних батарей
4.4. Діагностика та усунення несправностей електропривода
4.5. Програмне оновлення та калібрування систем електромобіля
Блок самоконтролю
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Рисунок 3.2 – Фрагмент змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

Перші розділи присвячені історичному розвитку, класифікації та характерним особливостям гібридного й електричного транспорту. Такий підхід сприяє формуванню світоглядної основи та акцентує увагу на актуальності й перспективності відповідних технологій. У подальшому виклад

переходить до аналізу конструкції силових установок: спочатку гібридних, потім електричних. Обрана послідовність обґрунтована методично, оскільки гібридна силова установка поєднує елементи двигуна внутрішнього згорання та електропривода, що забезпечує логічний перехід до повністю електричної тяги.

У наступних розділах розглядаються системи керування, енергоспоживання та безпеки, включно із захистом високовольтних компонентів, пожежною безпекою та особливостями експлуатації електротранспорту. Okремо висвітлено питання технічного обслуговування, діагностики та ремонту гібридних і електричних автомобілів, що є важливою складовою професійної підготовки фахівців з обслуговування транспортних засобів.

Узгодження всіх структурних компонентів дозволило сформувати логічно впорядкований зміст, який поєднує теоретичні основи, технічні характеристики, вимоги до безпеки та практичні рекомендації. Такий комплексний підхід забезпечує реалізацію компетентнісної моделі навчання та сприяє формуванню професійних умінь у сфері обслуговування сучасного екологічного транспорту.

3.2 Формування основного тексту та супровідних елементів

Формування основного тексту та супровідних елементів навчального посібника є важливим етапом його створення, оскільки саме від якості подання матеріалу залежить ефективність його засвоєння здобувачами освіти. Основний текст має базуватися на принципах доступності, науковості, логічної послідовності та професійної спрямованості, що забезпечує відповідність змісту вимогам Державних стандартів професійної освіти та сучасним тенденціям розвитку автомобільної галузі. Матеріал повинен бути викладений чітко, без надмірної термінологічної перенасиченості, водночас з достатнім рівнем точності, що дозволяє відобразити особливості будови та

функціонування складних технічних систем гібридних і електричних автомобілів.

У процесі роботи над основним текстом важливо забезпечити логічний перехід від фундаментальних понять і загальних характеристик до розгляду конкретних компонентів, принципів роботи та особливостей технічного обслуговування. Така структура дозволяє учням поетапно формувати цілісну систему знань та поступово переходити від теорії до практики. Виклад матеріалу доцільно здійснювати блоками: спочатку подається коротке пояснення ключових понять, далі – розширений теоретичний матеріал, а після нього – приклади та практичні ситуації, що демонструють застосування знань у реальних умовах.

Як видно з рисунка 3.2, перед розділами основного матеріалу розміщений вступ, де обґрунтовується важливість і актуальність посібника, а також надається огляд основних тем, що висвітлюються, і вказується цільова аудиторія. Фрагмент вступу навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» зображено на рисунку 3.3.

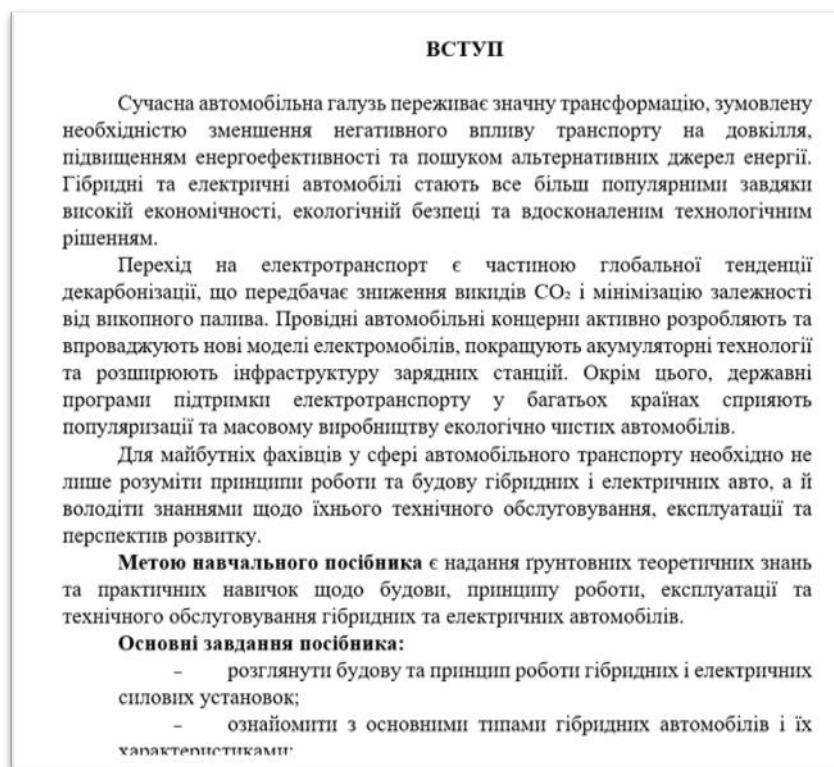


Рисунок 3.3 – Фрагмент вступу навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

При оформленні навчального посібника враховувалися вимоги відповідних державних стандартів галузі поліграфії [41 – 43]. Основний текст посібника оформлено шрифтом Times New Roman (звичайний, розмір 11 пунктів, з одинарним інтервалом). Для акцентування уваги читачів основні терміни виділяються жирним шрифтом.

Матеріал у посібнику викладений у науковому, об'єктивному стилі з чіткою логічною послідовністю. Оформлення посібника, подання термінів, визначень, введення нових понять і використання ілюстрацій спрямовані на те, щоб донести інформацію до учнів і допомогти їм самостійно орієнтуватися в матеріалі, а також зацікавити їх у навчальному процесі. Приклад подання основного тексту навчального посібника подано на рисунку 3.4.

Мікро гібрид – це найменш електрифікований тип, де електричні компоненти використовуються виключно для функції «Старт/Стоп». Принцип його роботи полягає в автоматичному вимкненні ДВЗ, коли автомобіль зупиняється (наприклад, на світлофорі), та його миттєвому перезапуску, коли водій відпускає гальмо або натискає на акселератор. Хоча це забезпечує невелику економію палива, особливо в умовах міських заторів, ця система суттєво збільшує навантаження на стартер і акумуляторну батарею (АКБ), вимагаючи використання спеціальних, більш витривалих батарей та інноваційних електронних методів контролю їхнього стану.

Середній гібрид (Mild Hybrid) є складнішою системою, що використовує електродвигун потужністю, як правило, від 30 до 60 кВт, який підтримує (асистує) ДВЗ. Електродвигун забезпечує додатковий крутний момент, особливо у фазах інтенсивного прискорення, що підвищує загальну ефективність та динаміку. Ключовою особливістю є те, що керувати виключно на електриці неможливо – електродвигун завжди працює спільно з ДВЗ або лише як генератор. Середні гібриди обов'язково включають систему рекуперативного гальмування, яка перетворює кінетичну енергію уповільнення на електричну, повертаючи її в АКБ.

Повний гібрид (HEV) – це найвищий ступінь гібридизації без зовнішнього заряджання. Автомобілі такого типу здатні працювати виключно від акумулятора на коротких відстанях та низьких швидкостях (зазвичай до 40-50 км/год), що робить їх надзвичайно високоефективними для міської їзди. Система контролю повністю вимикає ДВЗ не тільки на зупинках, але й при русі на малій швидкості, де електродвигун набагато ефективніший. Це забезпечує значне зниження викидів та витрат палива. Найвідомішим і найбільш успішним прикладом повного гібридного автомобіля є Toyota Prius.



Рис. 11 – Гібридний автомобіль Toyota Prius

Плагін-гібриди та авто зі збільшеним ходом

Ця група моделей представляє гібридні автомобілі з більшою батареєю та значним акцентом на пробіг на чистій електриці, але вони суттєво відрізняються принципом роботи трансмісії.

Плагін-гібрид (PHEV) – це автомобіль, який поєднує повний гібридний привід із можливістю зовнішнього заряджання. Ключовою особливістю PHEV є те, що його акумулятор, завдяки більшій ємності, може заряджатися безпосередньо від зовнішньої розетки або спеціальної зарядної станції, а також, як і звичайний гібрид, від ДВЗ і рекуперативного гальмування. Транспортний засіб зазвичай запрограмований працювати на чистій електричній тязі протягом усього доступного

18

Рисунок 3.4 – Подання основного тексту навчального посібника

У навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» ілюстративний матеріал відіграє особливо важливу роль, адже значна частина змісту пов'язана з візуалізацією конструкцій, енергетичних потоків, електричних схем, алгоритмів роботи систем і технологічних процесів технічного обслуговування. Вибір типів ілюстрацій здійснюється з урахуванням дидактичних цілей, рівня підготовленості здобувачів освіти та особливостей подання технічної інформації. Застосування ілюстрацій регламентується загальними рекомендаціями, які визначають доцільність, точність і методичну ефективність їх використання [42].

Ілюстрації включаються у зміст посібника лише тоді, коли вони несуть додаткове смислове навантаження: розкривають внутрішню будову агрегатів, пояснюють роботу складних систем (наприклад, схем потоків енергії у паралельному гібриді), відображають послідовність технологічних операцій або допомагають формувати просторове уявлення про компоненти високовольтного електропривода. Важливо, щоб обрані зображення були адаптовані до рівня підготовленості учнів. На першому етапі професійного навчання доцільно використовувати більш спрощені, схематичні та образні ілюстрації, тоді як у розділах, присвячених діагностиці, системам керування чи електричним схемам, використовуються деталізовані технічні креслення та структурні моделі.

Під час підготовки ілюстративного матеріалу враховуються технічні можливості друку та формат видання, що забезпечує чіткість відтворення схем і креслень. Ілюстрації повинні бути виконані у єдиному стилі та дотримуватися внутрішньої логіки розміщення, щоб уникнути фрагментарності подання матеріалу. Особливу увагу слід звернути на те, щоб графічні елементи не дублювали текст, а доповнювали його: електричні схеми не повинні повторювати словесний опис, а мають забезпечувати учневі можливість побачити роботу системи у структурному вигляді. Технічні креслення та моделі мають бути максимально інформативними, але не перевантаженими зайвими

деталлями, що дозволяє сконцентрувати увагу на ключових елементах та взаємозв'язках між ними.

Важливим видом ілюстрацій є графіки, діаграми й таблиці, що дозволяють у зручній формі подати порівняльні характеристики електродвигунів, акумуляторних батарей, типів гібридних установок, режимів заряджання, енергетичної ефективності або залежності запасу ходу від зовнішніх факторів. Використання кольору у таких матеріалах підвищує їхню інформативність, виділяє головні елементи, полегшує сприйняття складних структурних моделей і сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти.

У посібнику передбачається використання різних видів графічних матеріалів, зокрема:

- структурних схем будови гібридної та електричної силової установки;
- технічних креслень і 3D-моделей електродвигунів, акумуляторних батарей та інверторів;
- графічних діаграм енергоспоживання, втрат, режимів роботи;
- фотоматеріалів реальних вузлів і деталей (контактори, HV-конектори, батарейні модулі);
- покрокових технологічних схем діагностичних та ремонтних операцій.

Таке різноманіття ілюстративних засобів забезпечує формування повноцінного уявлення про конструкцію, роботу та обслуговування сучасних гібридних і електричних автомобілів, сприяє розвитку просторового технічного мислення та полегшує засвоєння складних технічних понять.

У навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» використано різні види ілюстрацій, зокрема кольорові малюнки (рисунок 3.5), схеми (рисунок 3.6) та світлини (рисунок 3.7).

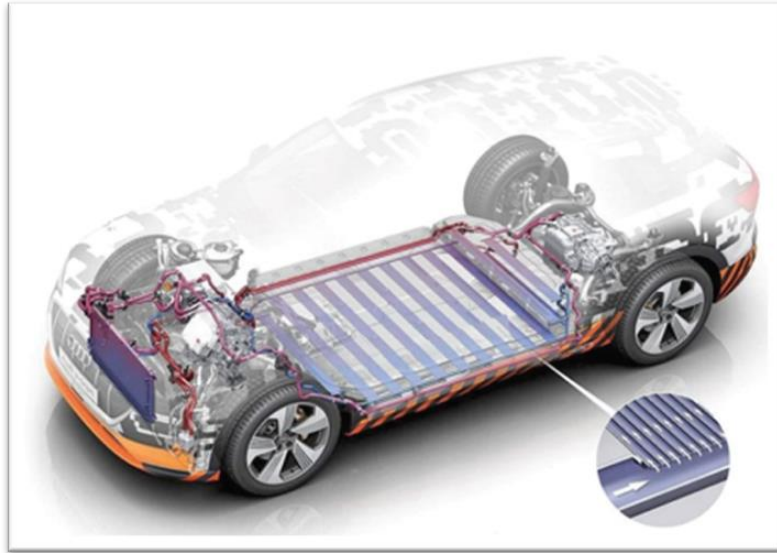


Рисунок 3.5 – Приклад подачі ілюстрації у вигляді кольорових малюнків

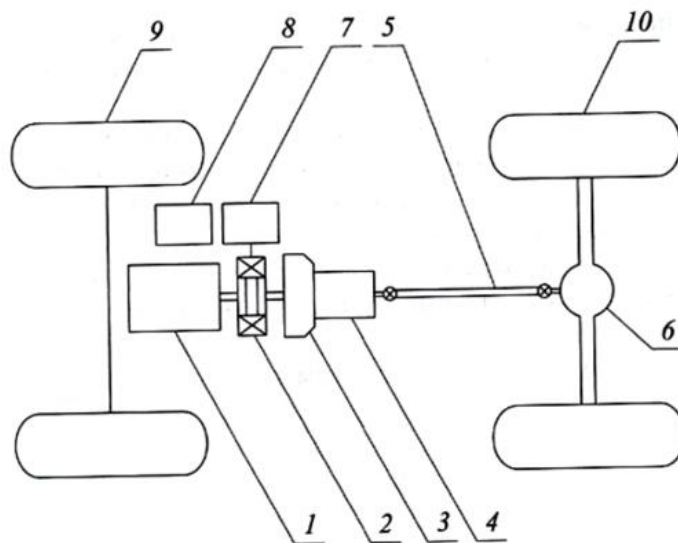


Рисунок 3.6 – Приклад подачі ілюстрації у вигляді схеми



Рисунок 3.7 – Приклад подачі ілюстрації у вигляді світлин

У навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» оформлення списку використаних джерел здійснюється відповідно до вимог національного стандарту ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання», який визначає структуру, елементи опису та порядок розташування джерел у переліку. Дотримання цього стандарту забезпечує точність і повноту бібліографічної інформації, що дозволяє здобувачам освіти та викладачам швидко знаходити використані видання, перевіряти наведені дані або звертатися до оригінальних джерел для поглибленого вивчення матеріалу.

Усі джерела мають бути структуровані за єдиним принципом. Найпоширенішими є два способи їх розміщення: у порядку появи в тексті або в алфавітному порядку за прізвищами авторів. У навчальних виданнях зазвичай перевага надається алфавітному принципу, оскільки він полегшує пошук потрібного джерела.

Формат бібліографічного опису залежить від типу джерела. Для книг зазначають прізвище та ініціали автора, повну назву видання, місце видання, назву видавництва, рік публікації та загальну кількість сторінок. Для статей обов'язковими елементами є автор, назва статті, назва журналу або збірника, рік, номер випуску та діапазон сторінок. У випадку використання електронних джерел додаються URL-адреса та дата звернення. Стандарт також визначає правила для опису нормативних документів, патентів, навчально-методичної літератури та матеріалів конференцій. Важливо, щоб усі бібліографічні записи були оформлені не лише коректно, але й однаково – єдність стилю є необхідною вимогою до навчальних посібників, оскільки вона забезпечує структурну цілісність і професійну якість видання.

Особливої уваги потребує вибір літературних джерел. До переліку слід включати лише найбільш актуальні та авторитетні видання, бажано останніх років, що відповідають сучасному рівню розвитку автомобільної галузі. Це має важливе значення для тематики гібридних та електричних транспортних засобів, де технічні рішення швидко оновлюються, а інформація швидко

застаріває. У посібнику доцільно використовувати як українські, так і міжнародні джерела, дотримуючись стандарту ДСТУ 8302:2015 у частині їхнього опису.

Усі використані джерела в навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» оформлюються відповідно до зазначених вимог. Приклад оформлення бібліографічного опису представлений на рисунку 3.8.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гнатюк А. В. Конспект лекцій з дисципліни «Будова гібридних автомобілів і електромобілів» – Харків, 2021. – 72 с.
2. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
3. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с.
4. Будова та принцип роботи електромобіля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://voltauto.ua/budova-printsip-raboty-elektromobilya/>
5. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. / Ю.І. Пиндус, Р.Р. Заверуха. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 209 с.
6. Як влаштований електромобіль: огляд технічної складової [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecofactortech.com/ua/how-an-electric-car-works/>
7. Конструкція електромобіля: вивчаємо основні компоненти [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/xgudvq>
8. Мілаєва І. І. Історія розвитку, перспективи застосування електромобільної техніки / І. І. Мілаєва, О. І. Мілаєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. – Мелітополь, 2020. – Вип. 20, т. 4. – С. 239–246.
9. Огляд характеристик Tesla Model 3 2023 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecofactortech.com/ua/tesla-model-3-2023-characteristics/>

Рисунок 3.8 – Оформлення бібліографічного опису

Щоб полегшити орієнтацію у змісті та сприйняття інформації, у посібнику використовуються умовні позначення, які виділяють додаткову інформацію (рисунок 3.9, а), пояснювальний текст (рисунок 3.9, б) та блок самоконтролю (рисунок 3.9, в).



Рисунок 3.9 – Умовні позначення посібника: а – довідковий текст, б – пояснювальний текст, в – блок самоконтролю

Таким чином, ми визначили структуру, зміст та розробили елементи методичного апарату навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів».

3.3 Обґрунтування додаткового і пояснювального тексту

Додатковий і пояснювальний текст є важливим компонентом навчального посібника, оскільки він виконує функцію поглиблення змісту, розширення контексту та підвищення пізнавальної цінності основного матеріалу. У посібнику з будови та експлуатації гібридних та електричних автомобілів такі тексти є особливо значущими, оскільки дозволяють простежити історію розвитку електротранспорту, пояснити причини появи сучасних технічних рішень та окреслити перспективи їх еволюції у найближчі десятиліття. Такий зміст сприяє формуванню цілісного, системного розуміння предметної області, що є важливою складовою професійної підготовки здобувачів освіти.

Обґрунтоване включення історичних аспектів у структуру навчального посібника дозволяє показати учням логіку розвитку автомобільної техніки: від перших електромобілів кінця XIX століття до сучасних високотехнологічних рішень, заснованих на літій-іонних батареях, складних енергетичних менеджмент-системах та електронних блоках управління. Історичні відомості розкривають ключові етапи становлення гібридних силових установок, дають змогу зрозуміти, чому ті чи інші конструкції на певних етапах розвитку були

успішними, а інші – ні, та як технологічні обмеження впливали на вибір інженерних рішень. Такий матеріал не дублює основного тексту, а доповнює його, створюючи необхідне підґрунтя для глибшого аналізу сучасних систем.

Не менш важливим є включення в посібник інформації про перспективи розвитку галузі. Це дозволяє зорієнтувати учнів у сучасних тенденціях автомобілебудування: переході до твердотільних акумуляторів, застосуванні водневих паливних елементів, розвитку систем автономного керування, інтеграції штучного інтелекту в роботу силових і безпекових систем, появи нових концепцій інфраструктури заряджання. Зміст такого типу сприяє формуванню у здобувачів освіти бачення професійного розвитку й адаптивності до технологічних змін, що відповідає сучасним тенденціям компетентнісного підходу в освіті.

Додаткові тексти виконують і пояснювальну функцію – вони допомагають розкривати зміст складних технічних понять у доступній формі, пояснювати окремі терміни, наводити приклади практичних ситуацій, що сприяють кращому розумінню матеріалу. Такі пояснення не є дублюванням основної частини, а навпаки – структуровано розміщуються у вигляді вставок, коментарів, приміток, які привертають увагу до важливих аспектів або підкреслюють ключові ідеї. Вони роблять текст більш інтерактивним та академічно насиченим, дозволяючи читачам повніше опанувати матеріал.

Таким чином, додатковий та пояснювальний текст у навчальному посібнику виконує кілька важливих функцій: поглиблювальну, інтерпретаційну, контекстуальну й прогностичну. Його застосування підвищує навчальну цінність видання, забезпечує системність сприйняття складних технічних процесів та формує у здобувачів освіти цілісне уявлення про сучасний і майбутній стан автомобільної галузі. За потреби можу підготувати приклади таких пояснювальних блоків, адаптованих під конкретні розділи вашого посібника.

У навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» додатковий і пояснювальний текст використовується

системно й прив'язаний до конкретних дидактичних одиниць, визначених у процесі компонування змісту. Такий підхід дозволяє не лише розширити основний матеріал, але й забезпечити його логічну узгодженість, глибину і методичну цінність. Для демонстрації цієї структурної взаємодії подано таблицю 3.1, яка показує, які саме додаткові або пояснювальні тексти можуть бути включені до посібника.

Таблиця 3.1 – Додатковий та пояснювальний текст посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

№	Дидактична одиниця	Вид додаткового / пояснювального тексту	Зміст додаткового матеріалу
1	2	3	4
1	Історія розвитку електротранспорту	Історичні довідки, пояснювальні вставки	Основні етапи розвитку електротранспорту, перші електромобілі, внесок відомих винахідників, причини зниження популярності та сучасне відродження електромобілів
2	Класифікація сучасних екологічних транспортних засобів	Пояснювальні схеми, довідкові таблиці	Класифікація EV, HEV, PHEV; коротка характеристика кожного типу, їх місце в сучасній транспортній системі
3	Порівняльний аналіз ДВЗ, гібридних і електричних автомобілів	Аналітичні таблиці, порівняльні графіки	Порівняння ККД, витрат енергії, експлуатаційних характеристик та впливу на довкілля
4	Переваги та недоліки гібридного та електричного транспорту	Узагальнювальні коментарі, приклади	Аналіз технічних, економічних та експлуатаційних переваг і обмежень різних типів транспортних засобів
5	Екологічні аспекти експлуатації	Пояснювальні тексти, аналітичні вставки	Вплив транспорту на навколишнє середовище, рівень викидів, шумове забруднення, утилізація акумуляторів
6	Загальна будова та класифікація гібридних систем	Схеми, термінологічні пояснення	Основні елементи гібридної силової установки, принципи їх взаємодії
7	Послідовна схема гібридного автомобіля	Функціональні схеми, пояснювальний текст	Принцип роботи послідовної гібридної схеми, режими руху, особливості енергопотоків

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4
8	Паралельна схема гібридного автомобіля	Структурні схеми, коментарі	Взаємодія ДВЗ та електродвигуна в паралельній схемі, приклади застосування
9	Послідовно-паралельна схема гібридного автомобіля	Пояснювальні схеми, аналітичні пояснення	Комбінування режимів роботи, переваги універсальної гібридної схеми
10	Особливості конструкції транспортного засобу з мотор-генератором	Технічні ілюстрації, пояснення	Конструктивні особливості мотор-генератора, його функції та роль у силовій установці
11	Основні компоненти електромобіля	Ілюстрації, спрощені технічні схеми	Будова електродвигуна, інвертора, редуктора, тягової батареї
12	Принцип роботи електродвигуна в електромобілі	Пояснювальні схеми, коментарі	Принцип перетворення електричної енергії в механічну, режими роботи двигуна
13	Енергетичний блок електромобіля: акумулятор і зарядні пристрої	Довідкові таблиці, пояснювальні блоки	Типи акумуляторів, принципи заряджання, основні стандарти зарядних пристроїв
14	Запас ходу електромобілів: фактори, що впливають	Аналітичні графіки, пояснювальний текст	Вплив температури, стилю їзди, навантаження, стану батареї на запас ходу
15	Популярні моделі електромобілів	Описові довідки, фотоілюстрації	Короткий огляд характеристик сучасних моделей електромобілів
16	Особливості ТО електромобілів у порівнянні з ДВЗ	Порівняльні таблиці, пояснення	Відмінності технічного обслуговування електромобілів і автомобілів з ДВЗ
17	Технічне обслуговування гібридних автомобілів	Алгоритми ТО, технологічні карти	Регламентні роботи для гібридних силових установок, типові несправності
18	Обслуговування акумуляторних батарей	Схеми BMS, пояснювальні вставки	Балансування елементів, контроль стану, безпечна експлуатація
19	Діагностика та усунення несправностей електропривода	Алгоритми діагностики, приклади	Основні методи діагностики електропривода та способи усунення несправностей
20	Програмне оновлення та калібрування систем електромобіля	Пояснювальні блоки, інтерфейси ПЗ	Оновлення програмного забезпечення, калібрування систем, адаптація параметрів

Приклади подання пояснювального та додаткового текстів у навчальному посібнику «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» зображено на рисунках 3.10. та 3.11.

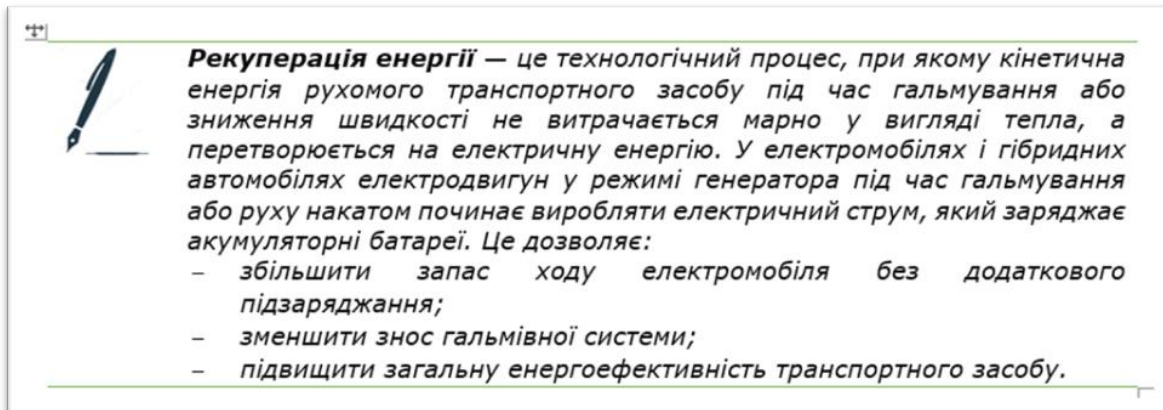


Рисунок 3.10 – Приклад пояснювального тексту навчального посібника

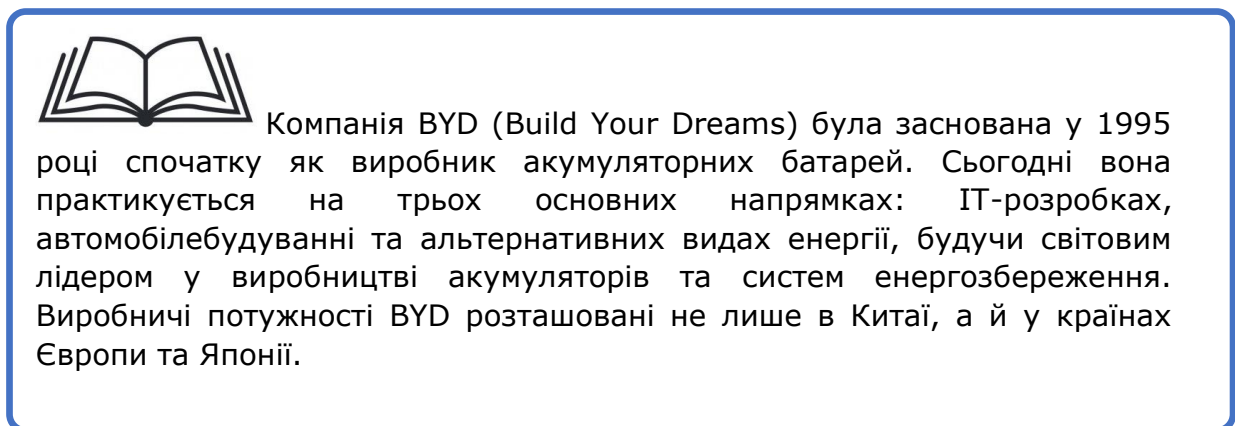


Рисунок 3.11 – Приклад додаткового тексту навчального посібника

Упровадження додаткового та пояснювального тексту в структуру навчального посібника підсилює його навчальну цінність, робить зміст більш доступним і наближеним до реальних умов професійної діяльності. Завдяки цим компонентам учні отримують можливість не лише засвоїти базові теоретичні положення, а й побачити їх зв'язок із сучасними технологіями, практичними ситуаціями та перспективами розвитку галузі. Це створює умови для формування усвідомленого інтересу до матеріалу, підвищує рівень мотивації та сприяє розвитку аналітичних умінь і професійної компетентності. У цілому додатковий та пояснювальний тексти забезпечують логічну цілісність викладу.

3.4 Розробка системи навчальних завдань

Контроль навчальних досягнень є невід'ємним елементом освітнього процесу та виконує діагностичну, коригувальну, навчальну, мотиваційну й розвивальну функції. У професійній освіті контроль має особливе значення, оскільки спрямований не лише на перевірку знань, а й на оцінювання рівня сформованості умінь та професійних компетентностей, що відображають готовність учня до реального виконання виробничих операцій.

У контексті розроблення навчального посібника контроль виконує подвійну функцію. По-перше, він забезпечує зворотний зв'язок між змістом посібника й учнем, дозволяючи оцінити, наскільки матеріал засвоєний. По-друге, він є інструментом саморегуляції, що дає змогу здобувачу освіти самостійно оцінити рівень власної підготовки та виявити потребу в додатковому повторенні чи опрацюванні окремих тем.

Питання для самоконтролю відіграють важливу роль у структуруванні навчального процесу та забезпеченні активної участі учнів у засвоєнні матеріалу. Вони зосереджують увагу на ключових змістових компонентах теми, стимулюють мисленнєву діяльність і сприяють самостійному опрацюванню інформації. Такі питання допомагають учням виконувати самодіагностику знань і здатності застосовувати їх у типових виробничих ситуаціях.

На відміну від тестових завдань, питання для самоконтролю потребують розгорнутої логічної відповіді, що сприяє розвитку аналітичного та критичного мислення, уміння робити висновки й формулювати причинно-наслідкові зв'язки. Вони також дозволяють викладачу оцінити рівень глибини розуміння навчального матеріалу.

Щоб питання для самоконтролю виконували свою функцію, вони повинні відповідати певним дидактичним вимогам. Науково-методична література виділяє такі критерії:

– чіткість і однозначність формулювання – питання має бути сформульоване без двозначностей, зрозумілими термінами, відповідно до рівня підготовленості учнів. необхідно уникати надмірно складних конструкцій і неформалізованих понять;

– відповідність змісту теми – питання повинні охоплювати ключові теоретичні положення, конструктивні особливості та технологічні процеси, які учень повинен засвоїти, а також ті аспекти, що мають практичне значення;

– логічність і структурованість – питання варто формувати відповідно до логіки викладу матеріалу: від простих фактологічних аспектів до складних аналітичних питань, що потребують встановлення причинно-наслідкових зв'язків;

– спрямованість на активізацію мислення – доцільно включати питання, які вимагають не лише відтворення інформації, але й аналізу, порівняння, узагальнення та оцінювання;

– практична спрямованість – частина питань повинна орієнтувати учня на застосування знань у реальних або змодельованих виробничих ситуаціях (наприклад, діагностика несправностей, вибір оптимального режиму роботи електропривода);

– обсяг і доступність – питання мають бути змістовними, але не перевантаженими зайвими деталями. Оптимальний обсяг – одна-чотири змістові одиниці в межах однієї теми.

– використання коректної професійної термінології – формулювання повинно відповідати сучасним стандартам автомобільної галузі, включаючи терміни, пов'язані з електромобільністю, високовольтними системами, акумуляторними технологіями тощо.

– можливість перевірки – питання для самоконтролю повинні мати потенціал для об'єктивної перевірки викладачем або самостійного зіставлення відповіді з матеріалом посібника.

Якісно розроблені питання сприяють не лише перевірці засвоєного матеріалу, але й виконують функцію інтелектуальних орієнтирів, які вказують

учню на ключові змістові елементи теми. Вони забезпечують розвиток самоконтролю, саморефлексії та формування відповідальності за результати власного навчання. У професійній підготовці це особливо важливо, оскільки самостійність і здатність до аналізу – важливі компетентності майбутнього слюсаря з ремонту транспортних засобів.

Зразок питань для самоконтролю наведено на рисунку 3.12.

Питання та завдання

1. У яку історичну епоху електромобілі переважали над бензиновими авто і чому вони втратили популярність на початку ХХ століття?
2. Назвіть два головні фактори, які спровокували сучасний ренесанс електротранспорту у 2000-х роках.
3. Охарактеризуйте ключову відмінність між повним гібридом (HEV) та плагін-гібридом (PHEV) з погляду розміру батареї та можливості заряджання.
4. Що таке чистий електромобіль (BEV)?
5. Які два види енергії використовує гібрид?
6. Який показник енергоефективності (у %) має ДВЗ-автомобіль?
7. Поясніть, як система рекуперативного гальмування у гібридах та BEV впливає на їхню загальну ефективність.
8. У чому полягає ключова відмінність у трансмісії ДВЗ-автомобіля порівняно з BEV, і як це впливає на витрати на обслуговування?
9. Чому гібридний автомобіль має вищу початкову вартість і потенційно вищі витрати на ремонт, ніж аналогічний автомобіль із ДВЗ?
10. Що таке "тривога запасу ходу" і який тип транспортного засобу (ДВЗ, гібрид, BEV) найменше схильний до цього явища?
11. Назвіть дві головні переваги, які забезпечує гібридний автомобіль, що усувають найбільші недоліки BEV.

Рисунок 3.12 – Зразок питань та завдань для самоконтролю

Тестові завдання посідають важливе місце в системі контролю знань і умінь учнів закладів професійної освіти. На відміну від відкритих питань, тести забезпечують стандартизованість, об'єктивність і порівнюваність результатів, дозволяють охопити значний обсяг навчального матеріалу за обмежений час та уникнути суб'єктивності оцінювання.

У професійній підготовці тестові завдання особливо важливі для перевірки знань про конструкції та принципи роботи технічних систем, алгоритмів діагностування, правил безпечної експлуатації, фізичних процесів у роботі електричних та гібридних силових установок. Тести дозволяють швидко

визначити, чи опанував учень базові поняття й чи готовий застосовувати їх під час практичних робіт.

Тестові завдання виконують низку функцій, серед яких:

- діагностична – дозволяють оперативно виявити рівень засвоєння матеріалу;
- навчальна – формують уміння аналізувати інформацію, порівнювати, робити висновки;
- коригувальна – на основі результатів можна визначити теми, які потребують повторного опрацювання;
- мотиваційна – учні бачать конкретний результат своєї роботи;
- контрольньо-оціночна – забезпечують узгодженість оцінювання з освітніми стандартами.

У навчальному посібнику доцільно застосовувати такі типи тестів:

- закриті завдання з вибором однієї правильної відповіді – ефективні для перевірки фактологічних знань та базових понять;
- завдання з кількома правильними відповідями – перевіряють глибше розуміння конструкцій, принципів роботи, технологічних процесів;
- завдання на встановлення відповідності – дозволяють оцінити уміння співвідносити поняття, частини вузлів, типи систем;
- послідовні тести (встановлення правильної черговості) – корисні для перевірки технологічних алгоритмів то, ремонтних чи діагностичних процедур;
- ситуаційні (кейс-тести) – моделюють проблемні виробничі ситуації, визначають здатність учня приймати технічно обґрунтовані рішення.

Усі ці типи тестів дозволяють комплексно оцінити як знання теорії, так і здатність її застосування в практичних умовах.

Правильно сформульоване тестове завдання має відповідати ряду методичних та психолого-педагогічних вимог. Наукова література виділяє такі критерії:

- однозначність формулювання – завдання не повинно містити двозначностей, неточностей чи термінологічних невідповідностей;

- відповідність навчальному матеріалу – формулювання має охоплювати ті поняття, які входять до змісту дидактичних одиниць, без «виходу» за межі програми;
- чіткість і лаконічність – тест повинен містити мінімум слів, достатніх для коректного розуміння змісту, без зайвих пояснень;
- одна правильна відповідь для закритих завдань – альтернативи мають бути продуманими й правдоподібними, але неправильними; недопустимі підказки чи стилістичні «збої», що виділяють правильний варіант;
- рівень складності відповідає очікуваним результатам навчання – тести мають перевіряти різні рівні складності: знання термінів, розуміння принципів, уміння аналізувати ситуації;
- відсутність емоційно забарвлених формулювань або оцінних суджень – завдання повинні бути нейтральними й науково коректними;
- використання сучасної термінології;
- можливість об'єктивної перевірки – відповідь повинна бути однозначно правильною або однозначно неправильною; недопустимо формулювати завдання, де можливі варіанти трактування;
- оптимальна кількість варіантів відповіді – більшості випадків 4 варіанти є найбільш коректними: менша кількість знижує складність, більша – перевантажує учня.

У професійній освіті тестові завдання допомагають:

- оцінити здатність учня орієнтуватися в технічній інформації;
- перевірити знання нормативних вимог із безпеки;
- визначити рівень розуміння принципів роботи електропривода, гібридних систем, зарядних технологій;
- контролювати готовність до виконання практичних робіт і діагностичних процедур;
- забезпечити систематичний моніторинг навчальних досягнень.

Завдяки їх використанню зростає об'єктивність і якість оцінювання, а також підвищується ефективність процесу підготовки майбутніх фахівців.

Приклад тестових завдань подано на рисунку 3.13

Тестові завдання	
1. У яку історичну епоху електромобілі переважали над бензиновими авто?	<ul style="list-style-type: none"> A. 1950-ті роки B. Початок XXI століття C. Кінець XIX – початок XX століття D. Період нафтової кризи 1970-х років
2. Яка головна відмінність плагін-гібрида (PHEV) від повного гібрида (HEV)?	<ul style="list-style-type: none"> A. PHEV має лише один двигун. B. PHEV не використовує рекуперативне гальмування. C. PHEV має більшу батарею і може заряджатися від зовнішньої електромережі. D. PHEV використовує дизельний двигун, а HEV — бензиновий.
3. Яка основна причина високої початкової вартості чистого електромобіля (BEV)?	<ul style="list-style-type: none"> A. Висока вартість кузова та салону. B. Висока вартість електродвигуна. C. Висока вартість і енергоємне виробництво акумуляторної батареї. D. Складність трансмісії.
4. Яка приблизна енергоефективність двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ)?	<ul style="list-style-type: none"> A. 80–90% B. 50–60% C. 25–35% D. Понад 95%
5. Що таке «тривога запасу ходу» (range anxiety)?	<ul style="list-style-type: none"> A. Несправність системи контролю батареї. B. Психологічний страх водія перед вичерпанням заряду/палива в дорозі. C. Висока вартість електроенергії для заряджання. D. Обмеження потужності електродвигуна.

Рисунок 3.13 – Приклад тестових завдань навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

Таким чином, у межах розроблення системи навчальних завдань створено комплект питань для самоконтролю та тестових завдань, які забезпечують поетапну перевірку засвоєння навчального матеріалу та формування професійних компетентностей. Запропоновані інструменти контролю дозволяють студентам самостійно оцінити рівень власної підготовки, а викладачеві – оперативно визначити рівень розуміння ключових понять, принципів роботи гібридних та електричних силових установок і готовність здобувачів до практичної діяльності. Систематичне використання таких завдань підвищує якість навчального процесу, сприяє розвитку аналітичного мислення та формує відповідальність студентів за результати власного навчання.

3.5 Оцінювання та експериментальна перевірка якості навчального посібника

Оцінювання якості навчального посібника є важливою складовою педагогічного проектування, адже дає змогу визначити, наскільки ефективно він відповідає вимогам професійної освіти та здатен забезпечити формування необхідних компетентностей майбутніх фахівців. Якість посібника особливо важлива у сфері гібридних та електричних транспортних засобів, де навчальний матеріал має бути точним, сучасним і практично орієнтованим.

Насамперед враховується науковість і достовірність інформації. Дані про конструкції електродвигунів, високовольтні акумулятори, інвертори, системи рекуперації та інші вузли повинні відповідати сучасному стану автомобільної галузі й базуватися на актуальних джерелах. Не менш значущою є відповідність змісту державним стандартам професійної освіти, зокрема ДСПТО за професією 7231 «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів» та робочим навчальним програмам спеціальних дисциплін. Матеріал має формувати конкретні результати навчання, передбачені стандартами: знання будови електромобіля, розуміння принципів роботи гібридних систем, уміння виконувати діагностування та дотримуватись правил безпеки.

Важливо оцінювати системність і повноту викладу. Матеріал повинен подаватися логічно, структуровано, у взаємозв'язку між елементами електричного та гібридного приводу, без фрагментарності чи зайвого спрощення. Одним із ключових показників якості є практична спрямованість. Посібник повинен містити описи типових несправностей, приклади діагностики, технологічні карти, алгоритми обслуговування, що дозволяє учням переносити теоретичні знання у професійну діяльність.

Оцінюється також доступність викладу. Матеріал має бути поданий у зрозумілій формі, з поясненням термінів, використанням прикладів, покроковими описами та ілюстраціями, адаптованими до рівня підготовки

студентів закладів професійної освіти. Важливо, щоб виклад відповідав сучасним педагогічним підходам – компетентнісному, діяльнісному та модульному, а структура посібника дозволяла інтегрувати мультимедійні та симуляційні засоби навчання.

Якість ілюстративного матеріалу також є критерієм оцінювання. Схеми, креслення та фотографії мають бути чіткими, інформативними і такими, що доповнюють текст, допомагаючи учням краще зрозуміти будову та принципи роботи систем. Значення має і методичне забезпечення: питання для самоконтролю, тести, завдання, словник термінів, додаткові пояснення, що сприяють самостійному засвоєнню матеріалу.

Оцінюється дидактична цілісність та логічність структури посібника. Розділи і підрозділи повинні бути узгоджені між собою, а навчальні елементи – повною мірою відповідати поставленим результатам навчання. Важливо, щоб посібник був придатним до оновлення й адаптації, оскільки сфера електромобільності швидко розвивається; структура видання має дозволяти оперативно додавати нові технології, моделі та методики обслуговування.

Комплексне оцінювання за цими критеріями дозволяє визначити, чи є навчальний посібник достатньо ефективним для використання в професійній підготовці майбутніх фахівців з ремонту та обслуговування гібридних та електричних автомобілів, забезпечуючи якісний та сучасний освітній процес.

Експертне оцінювання навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» було проведено з метою визначення його науково-методичної якості, відповідності освітнім стандартам та практичної значущості для підготовки здобувачів професійної освіти. Для отримання об'єктивних висновків було організовано опитування двох груп респондентів – викладачів спеціальних дисциплін та студентів, які навчаються за професією «Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів». Інструментарієм збору даних виступали спеціально розроблені анкети (див. Додаток Б – анкета для викладачів; Додаток В – анкета для здобувачів освіти).

Аналіз результатів експертного оцінювання навчального посібника здійснювався із застосуванням поєднання кількісних та якісних методів обробки даних, що забезпечило комплексність і достовірність отриманих висновків.

Кількісний аналіз передбачав обробку закритих запитань анкет шляхом обчислення частотних показників, визначення відсоткового розподілу відповідей та встановлення середніх оцінок за кожним критерієм. Це дозволило виявити узагальнені тенденції, домінуючі оцінки та ступінь однотайності думок респондентів. Порівняльний аналіз середніх значень за різними критеріями дав змогу визначити сильні та відносно слабкі сторони навчального посібника.

Якісний аналіз охоплював опрацювання відкритих запитань анкет, що давали можливість експертам висловити індивідуальні міркування та конкретні пропозиції щодо змісту й структури посібника. Відповіді були піддані класифікації та узагальненню за змістовими категоріями, серед яких виокремлено: позитивні відгуки, побажання щодо доповнення матеріалу, зауваження щодо подачі окремих тем, рекомендації щодо практичного блоку.

Інтерпретація результатів здійснювалася шляхом зіставлення кількісних і якісних даних, що дозволило комплексно оцінити ефективність навчального посібника з позицій викладачів та здобувачів освіти. Такий підхід забезпечив об'єктивність висновків і сприяв визначенню напрямів подальшого вдосконалення посібника.

Оцінювання викладачами дозволило визначити наукову коректність матеріалу, логічність структури посібника, відповідність професійним компетентностям та ступінь методичної опрацьованості тексту. Узагальнені результати анкетування подано в таблиці 3.2.

Аналіз змістових критеріїв свідчить про загалом високий рівень відповідності посібника вимогам професійної освіти. Більшість викладачів (60%) оцінили відповідність змісту стандартам як високу, ще 20% – як достатню, що в сукупності підтверджує коректність добору навчального матеріалу та його узгодженість із нормативними вимогами. Високий рівень

актуальності матеріалу для сучасної автомобільної галузі відзначили 90% респондентів, з яких 60% визначили його як «дуже актуальний». Це свідчить про врахування тенденцій розвитку електромобільності та потреб ринку праці.

Таблиця 3.2 – Результати анкетування викладачів щодо оцінювання навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

№	Критерій оцінювання	Варіанти відповідей	Розподіл відповідей, %
1	2	3	4
1.1	Відповідність змісту вимогам стандартів професійної освіти	Висока	60
		Достатня	20
		Часткова	20
		Низька	0
1.2	Актуальність матеріалу для сучасної автомобільної галузі	Дуже актуальний	60
		Актуальний	30
		Частково	10
		Неактуальний	0
1.3	Повнота розкриття тем	Повна	50
		Достатня	30
		Часткова	20
		Недостатня	0
1.4	Рівень науковості та достовірності	Високий	60
		Достатній	40
		Потребує уточнення	0
1.5	Практична спрямованість матеріалу	Висока	50
		Достатня	30
		Недостатня	20
1.6	Відповідність складності тексту рівню підготовки учнів	Так	60
		Частково	30
		Занадто складний	10
		Занадто спрощений	0
2.1	Чіткість і логічність структури посібника	Висока	60
		Достатня	30
		Порушена	10
2.2	Послідовність викладу матеріалу	Висока	60
		Достатня	30
		Частково порушена	10
2.3	Якість питань для самоконтролю	Висока	45
		Достатня	40
		Недостатня	15
2.4	Якість тестових завдань	Висока	50
		Достатня	40
		Недостатня	10
2.5	Формування професійних компетентностей методичним апаратом	Так	70
		Частково	30
		Ні	0

Кінець таблиці 3.2

1	2	3	4
3.1	Відповідність ілюстрацій змісту	Висока	60
		Достатня	10
		Недостатня	20
3.2	Якість схем і графічних матеріалів	Висока	40
		Достатня	30
		Потребує покращення	30
3.3	Однорідність стилю ілюстрацій	Так	60
		Частково	40
		Ні	0
4.1	Якість мовного викладу	Висока	60
		Достатня	30
		Потребує покращення	10
4.2	Коректність термінології	Висока	60
		Достатня	40
		Недостатня	0
4.3	Оформлення списку джерел за ДСТУ 8302:2015	Відповідає	70
		Частково відповідає	20
		Потребує доопрацювання	10
5.1	Формування професійних компетентностей	Так	70
		Частково	30
		Ні	0
5.2	Рекомендація до використання в освітньому процесі	Так	70
		За умови доопрацювання	30
		Ні	0

Оцінювання повноти розкриття тем показало, що 80% викладачів вважають подання матеріалу повним або достатнім, що підтверджує системність і завершеність змісту посібника. Водночас наявність 20% відповідей «часткова» вказує на доцільність подальшого розширення окремих тематичних блоків, зокрема пов'язаних із практичними аспектами експлуатації та діагностики. Високий рівень науковості та достовірності матеріалу підтверджений усіма респондентами, що є важливим показником якості навчального видання.

Практична спрямованість посібника загалом оцінена позитивно, однак 20% викладачів вказали на її недостатність, що узгоджується з пропозиціями щодо посилення практичного компонента, зокрема шляхом розширення системи завдань, кейсів і прикладів виробничих ситуацій. Аналіз відповідей щодо складності тексту показує, що для більшості учнів матеріал є доступним,

хоча 10% експертів вважають його дещо складним, що потребує дидактичного уточнення окремих фрагментів або додаткових пояснень.

Оцінювання структури та методичного апарату демонструє стабільно високі показники. Чіткість і логічність структури, а також послідовність викладу матеріалу отримали високі або достатні оцінки у 90% випадків. Якість питань для самоконтролю та тестових завдань переважно оцінюється як висока або достатня, що підтверджує їхню відповідність дидактичним вимогам і здатність забезпечувати ефективний контроль навчальних досягнень. Особливо показовим є те, що 70% викладачів підтвердили ефективність методичного апарату у формуванні професійних компетентностей.

Ілюстративний матеріал загалом відповідає змісту посібника, проте оцінки якості схем і графічних матеріалів є більш диференційованими. Наявність 30% відповідей «потребує покращення» свідчить про доцільність оновлення або деталізації окремих схем і візуальних матеріалів, з урахуванням специфіки високовольтних систем та електронних компонентів.

Мовно-оформлювальні аспекти та коректність термінології отримали переважно високі оцінки, що підтверджує відповідність тексту вимогам наукового та навчального стилю. Оформлення списку джерел за ДСТУ 8302:2015 визнано таким, що загалом відповідає стандарту, хоча окремі зауваження вказують на потребу точкового доопрацювання бібліографічних описів.

Загальні показники ефективності посібника є високими: 70% викладачів рекомендують його до використання в освітньому процесі без застережень, ще 30% – за умови незначного доопрацювання. Відсутність негативних оцінок щодо доцільності використання посібника свідчить про його високу дидактичну цінність, відповідність сучасним вимогам професійної освіти та потенціал для подальшого вдосконалення.

В таблиці 3.3 подано результати оцінювання якості навчального посібника здобувачами освіти.

Таблиця 3.3 – Результати анкетування здобувачів освіти щодо оцінювання навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

№	Критерій оцінювання	Варіанти відповідей	Частка, %
1.1	Зрозумілість викладу матеріалу	Дуже зрозумілий	37,5
		Зрозумілий	31,25
		Частково зрозумілий	25,0
		Складний	6,25
1.2	Цікавість матеріалу	Дуже цікавий	37,5
		Цікавий	31,25
		Частково	18,75
		Нецікавий	12,5
1.3	Повнота інформації	Достатня	62,5
		Частково достатня	25,0
		Недостатня	12,5
1.4	Відповідність рівню підготовки	Відповідає	68,75
		Частково	18,75
		Занадто складний	12,5
		Занадто простий	0
2.1	Орієнтація у структурі посібника	Легко	50,0
		Достатньо легко	31,25
		Важко	18,75
2.2	Логічність викладу матеріалу	Так	68,75
		Частково	25,0
		Ні	6,25
3.1	Корисність ілюстрацій	Так, дуже	43,75
		Так, частково	37,5
		Ні	18,75
3.2	Якість схем і графіків	Висока	37,5
		Достатня	31,25
		Низька	31,25
4.1	Зрозумілість питань для самоконтролю	Так	62,5
		Частково	25,0
		Ні	12,5
4.2	Ефективність самоконтролю	Так	68,75
		Частково	18,75
		Ні	12,5
4.3	Якість тестових завдань	Висока	43,75
		Достатня	37,5
		Низька	18,75
5.1	Загальна оцінка посібника	Відмінно	37,5
		Добре	37,5
		Задовільно	18,75
		Погано	6,25

Аналіз результатів анкетування здобувачів освіти свідчить про загалом позитивне сприйняття навчального посібника «Будова та експлуатація

гібридних та електричних автомобілів». Більшість опитаних учнів відзначили достатній рівень зрозумілості та доступності викладу матеріалу: 68,75 % респондентів оцінили його як «дуже зрозумілий» або «зрозумілий», що підтверджує відповідність змісту рівню підготовленості здобувачів професійної освіти. Водночас наявність відповідей «частково зрозумілий» і «складний» (31,25 %) вказує на доцільність подальшого вдосконалення пояснень окремих технічно складних питань, зокрема пов'язаних з електроприводом і високовольтними системами.

Позитивно оцінено також змістову повноту та пізнавальну привабливість посібника. Понад 60% учнів вважають інформацію достатньою для вивчення теми, а майже 70% зазначили, що матеріал відповідає їхньому рівню підготовки. Високі показники логічності викладу та зручності структури (понад дві третини позитивних відповідей) підтверджують обґрунтованість побудови навчального матеріалу на основі дидактичних одиниць і чіткої послідовності подання тем.

Оцінювання ілюстративного матеріалу та засобів контролю знань показало, що більшість здобувачів освіти вважають ілюстрації, питання для самоконтролю та тестові завдання корисними для засвоєння навчального матеріалу. Разом із тим, наявність зауважень щодо якості схем і графіків (31,25% низьких оцінок) та часткова ефективність питань для самоконтролю в окремих випадках свідчать про резерви вдосконалення методичного апарату. Загальна оцінка посібника є високою: 75% учнів оцінили його на рівні «відмінно» та «добре», що підтверджує доцільність його використання в освітньому процесі закладів професійної освіти та перспективність подальшого розвитку й доповнення навчального видання.

Отже, результати експертного оцінювання підтверджують ефективність навчального посібника та доцільність його використання в освітньому процесі підготовки фахівців автомобільного транспорту.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети та послідовно виконано всі визначені завдання дослідження.

У межах першого завдання було схарактеризовано теоретичні основи дидактичного проектування навчальної літератури в системі професійної освіти. Розглянуто сутність компетентнісного підходу, поняття результатів навчання, дидактичних одиниць, а також принципи структуризації навчального матеріалу. Встановлено, що ефективність навчального посібника значною мірою залежить від логічної організації змісту, узгодженості теоретичного матеріалу з практичними завданнями та орієнтації на реальні потреби професійної діяльності.

У ході виконання другого завдання визначено вимоги до змісту, структури та методичного наповнення навчальних матеріалів з автомобільної тематики. Проаналізовано державні стандарти професійної освіти, робочі навчальні програми та наявні підручники з будови автомобіля. Виявлено недостатню повноту та системність висвітлення питань, пов'язаних із гібридними й електричними транспортними засобами, що підтвердило доцільність розроблення спеціалізованого навчального посібника з цієї тематики.

Виконуючи третє завдання, було розроблено структуру та зміст основного тексту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів». З урахуванням очікуваних результатів навчання сформовано інформаційне поле теми та виокремлено 20 дидактичних одиниць, які охоплюють загальні характеристики, будову, принципи роботи, системи керування, безпеку, технічне обслуговування гібридних і електричних автомобілів. На основі графоаналітичного методу побудовано структурно-сміслову модель змісту та визначено логічну послідовність викладу навчального матеріалу.

У межах четвертого завдання створено методичний апарат навчального посібника, спрямований на ефективне засвоєння матеріалу та формування професійних компетентностей здобувачів освіти. Розроблено систему питань для самоконтролю, тестових завдань, додаткового й пояснювального тексту, а також обґрунтовано використання ілюстрацій, схем і таблиць. Запропонований методичний апарат забезпечує поетапне формування знань, умінь і навичок та сприяє активізації навчально-пізнавальної діяльності учнів.

П'яте завдання передбачало оцінювання якості розробленого навчального посібника та визначення перспектив його вдосконалення. Проведене експертне оцінювання за участю викладачів і здобувачів освіти засвідчило загалом високий рівень актуальності, науковості, структурованості та практичної спрямованості посібника. Результати анкетування підтвердили доцільність його використання в освітньому процесі закладів професійної освіти та окреслили напрями подальшого розвитку, зокрема розширення практичних завдань і впровадження цифрових та інтерактивних компонентів.

Таким чином, усі завдання кваліфікаційної роботи виконано, а отримані результати підтверджують, що розроблений навчальний посібник відповідає вимогам професійної освіти, сучасним тенденціям автомобільної галузі та може бути ефективно використаний у підготовці майбутніх фахівців з обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гончаренко С.У. Педагогічні дослідження: методологічні поради молодим науковцям. Київ-Вінниця: ДОВ «Вінниця», 2008. 278 с.
2. Методика професійного навчання: методичний посібник / І.Є. Сілаєва, С.С. Шевчук, С.О. Заславська. Донецьк: ІПО ІПП УМО, 2014. 292 с.
3. Шевчук С.С., Кулішов В.С. Дидактика професійної освіти: практикозорієнтований аспект: навчально-методичний посібник. Біла Церква: БІНПО ДЗВО «УМО» НАПНУ, 2021. 212 с
4. Луговий В. І. Компетентності та компетенції : поняттєво-термінологічний дискурс / В. І. Луговий // Вища освіта України : теорет. та наук.-метод. часоп. / [гол. ред. В. Андрущенко ; редкол. В. Бакіров, І. Вакарчук, В. Луговий та ін.] ; Ін-т вищої освіти НАПН України. – К., 2009. – № 3 (Дод. 1). – С. 8-14.
5. Ничкало Н. Г. Розвиток професійної освіти в умовах глобалізаційних та інтеграційних процесів: монографія / Н. Г. Ничкало. – К.: Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2014. – 125 с.
6. Зязюн І. А. Педагогіка і психологія професійної освіти: результати досліджень і перспективи / Іван Андрійович Зязюн. – Київ : КПЕК, 2003. – 679 с.
7. Радкевич В. О. Науково-методичні основи модернізації змісту професійної освіти і навчання. Науковий вісник Інституту професійно-технічної освіти НАПН України. Професійна педагогіка, 1, 57-68. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://jrnlsvet.edu.ua/index.php/1/article/view/463/438>
8. Жосан О. Е. Теорія і практика підручникотворення: історія та сучасний стан // Вісник післядипломної освіти. – 2009. – Вип. 12. – С. 41-51. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://library.kr.ua/wp-content/elib/zhosan/article35.pdf>
9. Смирнова І. Методичні основи розробки електронних освітніх ресурсів як контенту інформаційно-освітнього середовища / І. Смирнова //

Науковий вісник Інституту професійно-технічної освіти НАПН України. Сер.: Професійна педагогіка : зб. наук. праць. – 2015. – № 10. – С. 78–83.

10. Григорук Л. Обґрунтування змісту навчального посібника «Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів» // Матеріали наукової студентської конференції секції кафедри технологічної та професійної освіти і декоративного мистецтва. (м. Хмельницький, 02 травня 2025 р.) / ред. кол.: І. В. Андрощук, І. П. Андрощук [та ін.]. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – 96 с. – С. 14-17.

11. Державні стандарти професійно-технічної освіти. [Електронний ресурс]: Міністерство освіти і науки України: Освітні стандарти, навчальні плани та програми. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/qxbdx>

12. Коваленко І. Методичні підходи до навчання автомобільної електроніки у фахових коледжах // Професійна освіта. 2022. Т. 5, № 2. С. 45–52.

13. Чумак В.В. Проблема розвитку технічного мислення учнів засобами нових інформаційних технологій навчання / В.В. Чумак // Актуальні проблеми психології. Психологічна теорія і технологія навчання. - К. : Міленіум, 2006. - Т.8. -Вип. 2. - С.266-280.

14. Кучма О. І., Філатов С. В. Формування професійних компетентностей майбутніх фахівців автотранспортного профілю з використанням технологій дистанційної навчальної взаємодії // Вісник університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і психологія». Педагогічні науки. 2022. № 2 (24). С. 181–190. DOI: 10.32342/2522-4115-2022-2-24-19.

15. Терьохіна О. Л. Формування технічного мислення майбутніх бакалаврів машинобудування у процесі фахової підготовки [Електронний ресурс] : монографія / О. Л. Терьохіна. – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – 236 с.

16. Терьохіна О. Л. Психолого-педагогічні засади формування інженерного мислення майбутніх інженерів-машинобудівників / О. Л. Терьохіна // Педагогіка формування творчої особистості у вищій і

загальноосвітній школах : зб. наук. пр. / [редкол.: Т. І. Сущенко (голов. ред.) та ін.]. – Запоріжжя : КПУ, 2014. – Вип. 39 (92). – С. 389–395.

17. Волкова Н.П. Інтерактивні технології навчання у вищій школі: навчально-методичний посібник / Н.П. Волкова. – Дніпро: Університет імені Альфреда Нобеля, 2018. – 360 с.

18. Морзе Н., Вембер В., Гладун М. Використання цифрових технологій для формувального оцінювання. Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. 2019. Вип. спецвип. С. 202-214. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeeemu_2019_spetsvip

19. ДСТУ 3017:2015. Видання. Основні види. Терміни та визначення. – Чин. від 2016–01–07. – Київ, 2016.

20. Жуковський, О. Л., Сімонова, І. О. Навчальні посібники для закладів професійної освіти: структура, методика розробки, оцінювання якості. *Педагогічний альманах*. 2020. № 48. С. 72–78.

21. Структура, зміст та обсяг навчальних та навчально-методичних видань для ПТНЗ: методичні рекомендації щодо структури, змісту та обсягів навчальних та навчально-методичних видань для професійно-технічних навчальних закладів. – Ужгород, 2009. – 23 с.

22. Проблеми сучасного підручника: Зб. наук. праць. / Ред. кол. – К.: Педагогічна думка, 2010. – Вип. 10. – 780 с., табл., іл.

23. Системний підхід у вищій школі : навч. посіб. / автори-упоряд. Кочубей Т. Д. , Івашенко К.В. – Умань: ПП Жовтий О. О., 2014. – 131 с.

24. Пометун О. І. Принципи конструювання підручника з історії з позиції системного підходу // Проблеми сучасного підручника. 2016. Вип. 17. С. 388–402.

25. Пушкарьова Т. Деякі особливості укладання модульно-інтегрованого навчального підручника в контексті осучаснення освітнього середовища // Проблеми сучасного підручника. 2022. Вип. 28. С. 145–154. <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2022-28-145-154>

26. Белова О. К. Методика професійного навчання. Практикум по дидактичному проектуванню / О. К. Белова – Харків: УПА, 2000. – 36 с.
27. Будова й експлуатація автомобілів. Підручник / Кисликов В. Ф., Лущик В. В. – К.; Видавництво «Либідь», 2006. – 420 с.
28. Сирота В. І. Основи конструкції автомобілів. Навчальний посібник для вузів. К.: Арістей, 2005. – 280 с.
29. Боровських Ю. І. Будова автомобілів: навчальний посібник / Ю. І. Боровських, Ю. В. Буральов, К. А. Морозов. – К.: Вища школа, 1991. – 304 с.
30. Будова та основи експлуатації вантажних автомобілів. Навчальний посібник. / Іващенко М. В. – К.: Знання – Прес, 2012. – 250 с.
31. Гнатов А. В. Конспект лекцій з дисципліни «Будова гібридних автомобілів і електромобілів» – Харків, 2021. – 72 с.
32. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
33. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с.
34. Будова та принцип роботи електромобіля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://voltauto.ua/budova-printsip-raboty-elektromobilya/>
35. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. / Ю. І. Пиндус, Р. Р. Заверуха. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 209 с.
36. Як влаштований електромобіль: огляд технічної складової [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecofactortech.com/ua/how-an-electric-car-works/>
37. Конструкція електромобіля: вивчаємо основні компоненти [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/xgudvq>
38. Мілаєва І. І. Історія розвитку, перспективи застосування електромобільної техніки / І. І. Мілаєва, О. І. Мілаєв // Праці Таврійського

державного агротехнологічного університету. Технічні науки. – Мелітополь, 2020. – Вип. 20, т. 4. – С. 239–246.

39. Огляд характеристик Tesla Model 3 2023 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ecofactortech.com/ua/tesla-model-3-2023-characteristics/>

40. Артюх С. Ф. Педагогічні аспекти викладання інженерних дисциплін. Посібник для викладачів / Артюх С. Ф., Коваленко О. Е., Белова О. К, Ізюмська Г. В., Белікова В. В – Харків: УПА, 2001. – 210 с.

41. Структурування навчального матеріалу інженерних дисциплін / С.Ф. Артюх, В. М. Приходько, С. А. Капленко, А. Т. Ашерев, І. В. Федотов. – Харків: УПА, 2002. – 30 с.

42. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення. Київ: Держспоживстандарт України, 2016.

43. СОУ 18.1–02477019–07:2015. Поліграфія. Підручники і навчальні посібники для загальноосвітніх навчальних закладів. Загальні технічні вимоги (зі зміною № 1 та поправкою № 1). – На заміну СОУ 22.2–02477019–07:2007; чинний з 24.10.2019 до 31.12.2024

44. Текстові документи. Загальні вимоги. СОУ 207.01:2017 / Ю. М. Бойко, Г. В. Красильникова, Л. І. Першина, Т. Ф. Косянчук. – 2-ге вид., виправлене. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 45 с.

Додаток А (обов'язковий)

Зміст дидактичних одиниць

ДО1 Історія розвитку електротранспорту

Електричний автомобіль (EV) є безумовним та невідворотним майбутнім світової автомобільної промисловості, і це майбутнє вже настало. Глобальна тенденція до електрифікації зумовлена комплексом економічних, екологічних та технологічних чинників:

- економічна необхідність: постійне зростання цін на нафтопродукти робить експлуатацію EV більш вигідною;
- екологічні вимоги: гостра необхідність зниження шкідливих викидів під час експлуатації транспортних засобів для боротьби зі зміною клімату та забрудненням повітря у містах;
- технологічний прогрес: стрімкий розвиток пристроїв зберігання енергії (акумуляторів), а також впровадження високоенергоєфективних та енергоощадних технологій у конструкцію авто.

Світовий ринок електромобілів демонструє швидке зростання. Найбільшими ринками за обсягами продажів наразі є Китай, США та Японія. Європейські країни, зокрема Норвегія, Німеччина, Франція, Нідерланди та Велика Британія, також активно наздоганяють лідерів, пропонуючи суттєву державну підтримку.

Провідні виробники електрокарів охоплюють практично весь спектр світового автопрому:

- лідери ринку: Tesla (Roadster, Model S, Model X, Model 3), Nissan (Leaf), Renault (ZOE, Kangoo Z.E.).
- німецький преміум: BMW (i3), Mercedes-Benz (B250e), Volkswagen (e-Golf).
- інші глобальні гравці: Mitsubishi (i MiEV), Hyundai (Ioniq Electric), General Motors (Chevrolet Bolt), Ford (Focus Electric), а також більшість автомобільних фірм у Китаї, що відіграють ключову роль у сегменті.

Цікаво, що перші електрокари швидко набули популярності ще на початку ХХ століття завдяки своїй простоті в експлуатації, відсутності запахів і меншому рівню шуму, на відміну від машин, що працювали на бензині або парі. Такими автомобілями, що коштували недешево (наприклад, Columbia Mark 68 Victoria, 1906 р., вартістю \$1600), користувалися заможні люди для пересування по місту.



Рис. 1 – Автоледі заряджає електромобіль Columbia Mark 68 Victoria

Вважалося, що основними покупцями є жінки. Це бачення було продиктоване тим, що електромобілі були чистими, тихими, без вихлопних газів, а найбільш вагомим чинником

виступало те, що у них не було заводної рукоятки. Адже завести таким чином авто або розтопити котел у паровому автомобілі було під силу не кожному.

Комфорт експлуатації включав миттєвий запуск двигуна, відсутність коробки передач і зчеплення, практично повну безшумність, а також внутрішнє електричне освітлення та обігрів ніг.

Крім того, покупців приваблювала висока надійність, адже електродвигуни значно надійніші за двигуни внутрішнього згоряння. Варто зазначити, що на деякі машини навіть спеціально встановлювали декоративні радіатори, щоб зробити їх більш привабливими на ринку серед водіїв-чоловіків, які звикли до вигляду авто з ДВЗ.

Проводячи аналіз досліджень щодо розробок та створення електричних транспортних засобів (електромобілів), можна умовно виділити шість етапів їх розвитку:

1. Етап зародження (1837–1895 рр.)

Цей період відзначається першими успішними експериментами, які довели принципову можливість використання електрики для руху.

Ключові події:

- приблизно 1837 рік: створення перших непрактичних, але функціональних електричних візків або локомотивів (наприклад, Роберт Андерсон у Шотландії, Томас Девенпорт у США).
- 1880-ті роки: поява перших акумуляторних батарей, здатних забезпечити необхідну потужність для практичного транспортного засобу. Це зробило електричний транспорт реальністю.
- 1888 рік: Флоукенхабер (Німеччина) представив один із перших електричних автомобілів.

Електричні технології конкурували з паровими машинами. Електрика вважалася чистим і тихим джерелом енергії.

2. Етап інтенсивного розвитку і конкуренції (1896–1930 рр.)

Це була «Золота доба» електромобілів, коли вони активно конкурували з бензиновими та паровими автомобілями, особливо на міських ринках.

Ключові події:

- електромобілі були популярними серед заможних міських жителів та жінок завдяки простоті експлуатації (відсутність заводної рукоятки, шуму, запаху та коробки передач).
- 1899 рік: електричний автомобіль «La Jamais Contente» (Ніколи незадоволена) встановив світовий рекорд швидкості, вперше перевищивши позначку в 100 км/год (105,88 км/год).
- 1912 рік: виробництво електромобілів у США досягло піку, склавши близько третини всіх зареєстрованих авто.

Причина занепаду:

- впровадження електричного стартера у бензинових автомобілях (зникла необхідність у заводній рукоятці).
- масове виробництво Ford Model T (1908 р.), що зробило бензинові авто значно дешевшими.
- покращення дорожньої мережі та потреба у більшому запасі ходу.

3. Етап локального використання (1931–1960 рр.)

Електромобілі втратили свої позиції на ринку легкового транспорту, але знайшли нішу у спеціалізованих секторах.

Ключові події:

- легкові електромобілі майже повністю зникають із продажу.
- електричний транспорт використовується для доставки молока (milk floats у Великій Британії), промислових візків, вантажних платформ та спеціальних

служб (наприклад, усередині заводів чи аеропортів), де їхній малий запас ходу та відсутність вихлопів були перевагою.

Нафтовий бум та низькі ціни на бензин закріпили домінування двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

4. Етап широкого проведення дослідно-конструкторських робіт (ДКР) (1961–1982 рр.)

Цей період був реакцією на нафтові кризи 1970-х років та зростаючу стурбованість щодо забруднення повітря.

Ключові події:

- нафтова криза 1973 року та 1979 року стимулювали уряди та виробників шукати альтернативи нафтовому паливу.
- багато автогігантів (наприклад, General Motors, Ford) розпочали широкі ДКР та випустили невеликі експериментальні партії електромобілів.
- були спроби вдосконалити батареї, але літій-іонна технологія ще не була готова для автомобільного застосування.

Хоча було випущено багато дослідних зразків, комерційного успіху вони не досягли через обмежену технологію батарей (переважно свинцево-кислотні), що призводило до малого запасу ходу та довгого часу заряджання.

5. Етап певного спаду (після 1982–2010 рр.)

Після стабілізації нафтового ринку роботи над EV сповільнилися, хоча екологічні вимоги продовжували зростати.

Ключові події:

- 1990-ті роки: Каліфорнійська рада повітряних ресурсів (CARB) вимагає від виробників випуску автомобілів із нульовим рівнем викидів, що змусило компанії (наприклад, GM) випустити такі моделі, як EV1.
- недоліки джерел струму: основним каменем спотикання залишалися батареї: їхня велика вага, висока вартість та низька енергетична щільність. Невдачі в експлуатації дослідних партій (наприклад, швидка деградація) призвели до тимчасового згорання багатьох проєктів.
- 2000-ті роки: поява перших успішних гібридних авто, таких як Toyota Prius (1997 р.), які проклали шлях для електрифікації.

6. Етап відродження та масового ринку (2010 р. – наш час)

Цей етап став можливим завдяки технологічному прориву у сфері акумуляторів та зростанню свідомості щодо екології.

Ключові події:

- поява літій-іонних батарей великої ємності, які забезпечили прийнятний запас ходу та зменшення ваги.
- вихід на масовий ринок: успішний запуск перших комерційно привабливих моделей:
- Tesla Motors (США): змінила уявлення про EV як про швидкий, технологічний і преміальний транспорт.
- Nissan Motor Company (Японія): випустила Nissan Leaf, перший масовий EV для світового ринку.
- BYD AUTO (Китай): став одним із провідних світових виробників EV, особливо в сегменті автобусів та внутрішнього ринку.

На першому етапі розвитку електричного транспорту (1837–1895 рр.) електромобілі розвивалися паралельно з автомобілями, оснащеними двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ).

У цей період автомобілі з ДВЗ ще не були серйозним конкурентом електромобілів, оскільки конструкція електричних екіпажів була простішою і вони, як і бензинові авто того часу, використовувалися лише в межах міст для пересування в радіусі 10–15 км зі швидкістю, що не перевищувала 20 км/год.

Перші електричні транспортні засоби були створені приблизно у 1837 році американцями Томасом Девенпортом і Вільямом Пейджем, а також шотландцем Робертом Девідсоном. Уже у 1838 році Борис Якобі почав проводити важливі дослідження з електродвигуном, що живиться від батареї гальванічних елементів.

Ранні електромобілі являли собою звичайний візок, оснащений електродвигуном. У 1884 році Томас Паркер, відомий електрифікацією лондонської підземки, спроектував і побудував свій електромобіль, при цьому він самостійно розробив акумулятор для свого транспортного засобу.

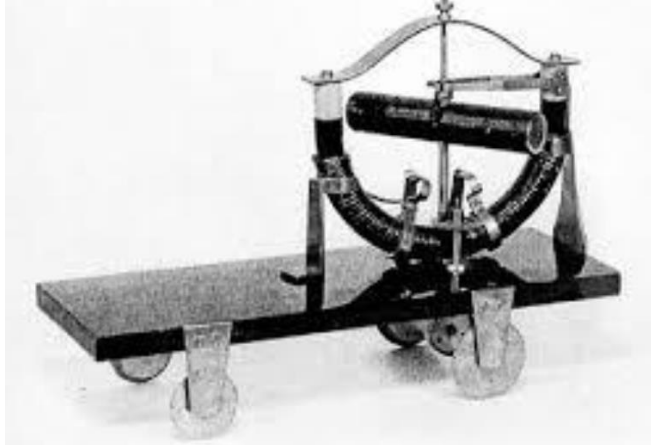


Рис.2 - Перший електромобіль – електровізок

У США у 1888 році був представлений триколісний автомобіль, який, скоріше, був раннім електровелосипедом. Він використовував десять свинцево-кислотних акумуляторів виробництва Electrical Accumulator Company загальною вагою близько 40 кг, мав потужність двигуна 0,5 кінської сили і максимальну швидкість вісім миль на годину (близько 13 км/год).

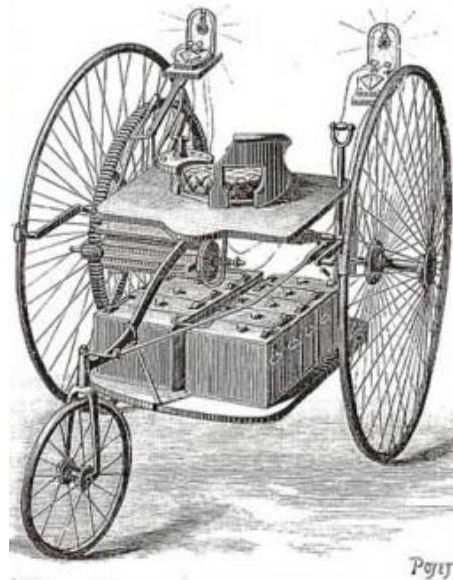


Рис. 3 – Одна з перших моделей електромобіля зі свинцевими акумуляторами

Таким чином, на етапі зародження електромобілі вже продемонстрували ключові переваги – простоту та чистоту, що забезпечило їм паритет із бензиновими конкурентами.

Другий етап розвитку електромобілів (1896–1930 рр.) був періодом інтенсивної конкуренції та масового зростання автомобільного виробництва, під час якого електромобілі почали випускатися серійно. У цей час електричний транспорт посідав значну, а в деяких містах – домінуючу частку ринку. Наприклад, у США до початку ХХ століття 38% усіх автомобілів мали електричні двигуни, випереджаючи бензинові авто (22%). У 1897 році на вулицях Лондона успішно запрацювали електромобілі-таксі, зовні схожі на традиційні кеби.



Рис.4 – Таксі в 1897 р.

Технології швидко розвивалися: у 1899 році Фердинанд Порше у віці 23 років створив свій перший автомобіль – електромобіль Egger-Lohner C.2 ("P1") . Цей транспорт вагою 1359,4 кг (з них 500,3 кг припадало на свинцево-кислотні акумулятори) забезпечував запас ходу до 80,5 км. Електродвигун потужністю від 3 к.с. до 5 к.с. приводив задні колеса через 12-ступінчасту коробку передач.



Рис. 5 - Перший автомобіль Ф. Порше, 1899 р.

У Франції у 1906 році було організовано серійне виробництво легкових електромобілів із запасом ходу до 80 км і швидкістю до 30 км/год.

Електромобілі також активно встановлювали швидкісні рекорди. У 1899 році електромобіль La Jamais Contente (Ніколи незадоволена), керований Камілем Женаці, вперше у світі подолав рубіж 100 км/год, досягнувши швидкості 105,882 км/год . Пік виробництва припав на 1912 рік у США, коли було випущено 6000 легкових та 4000 вантажних електромобілів. Вантажні електромобілі мали відносно велику вантажопідйомність, іноді понад 6 тонн, при малих енерговитратах 0,054–0,095 кВт·год на 1 т·км транспортної роботи.



Рис. 6 – Електромобіль La Jamais Contente, 1899 р.

Однак, незважаючи на підйом, на кінець цього періоду припав спад, спричинений масовим конвеєрним виробництвом дешевих бензинових автомобілів та впровадженням зручного електричного стартера, що нівелювало ключові переваги електричного транспорту.

Третій етап розвитку електромобілів (1931–1960 рр.) характерний різким скороченням їхнього виробництва на початку 1930-х років, оскільки ринок легкових автомобілів був повністю захоплений дешевими бензиновими моделями.

Випуск електромобілів тривав лише невеликими партіями в окремих країнах, таких як Велика Британія, Німеччина та США. Електромобілі були ефективно перенаправлені у нішу спеціалізованого транспорту, де потрібні були невеликі пробіги та невисокі швидкості руху. Це включало централізовану доставку товарів з торговельної мережі, перевезення посилок та пошти.

У Німеччині спостерігалось тимчасове зростання їхньої кількості: якщо у 1939 році вона становила понад 9 тис. одиниць, то до 1944 року досягла 20 тис. одиниць. Це було пов'язано з наміром уряду Німеччини зменшити залежність від імпортного нафтового палива в умовах Другої світової війни.

Велика Британія стала світовим лідером у цьому сегменті, де електромобілі, зокрема *milk floats*, ефективно використовувалися для доставки. Так, з 1930 по 1960 рр. їхня кількість в Англії зросла у 15 разів, досягнувши 26 тис. одиниць, підтверджуючи їхню економічну ефективність у логістичних завданнях з частими зупинками та короткими маршрутами.

Четвертий етап розвитку електромобілів (1961–1982 рр.) ознаменувався новим інтенсивним інтересом до електричного транспорту у більшості промислово розвинених країн, особливо в США, Японії, Німеччині та Великій Британії. Цей сплеск інтересу був безпосередньо спричинений глобальним загостренням енергетичної та екологічної проблем.

Наприкінці 1960-х та на початку 1970-х років світ зіткнувся з серйозною енергетичною кризою (зокрема, нафтова криза 1973 року), яка чітко засвідчила обмеженість і вразливість ресурсів нафтового палива для автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). Водночас, стрімке насичення міст автомобільним транспортом спричинило різке підвищення рівня забруднення навколишнього середовища токсичними відпрацьованими газами. Оскільки електромобілі не потребують рідкого палива, практично не створюють шумового забруднення і, найголовніше, не мають токсичних викидів на магістралях і вулицях міст, вчені та інженери покладали на них великі надії як на засіб для вирішення екологічної проблеми міського транспорту.

У відповідь на ці виклики, у період з 1966 по 1971 рр., було розроблено найбільшу кількість дослідних зразків електромобілів у сучасній історії. Такі автогіганти, як General Motors, Ford і Chrysler, активно проводили широкі дослідно-конструкторські роботи.

Проте, незважаючи на значні інвестиції та розробку інноваційних прототипів, більшість цих експериментальних моделей, на жаль, не знаходили помітного подальшого розвитку та застосування і рідко доходили до масового виробництва. Нерідко ці розробки мали швидше рекламний характер, демонструючи екологічну відповідальність компаній, ніж

реальний комерційний потенціал, оскільки технології акумуляторів того часу (переважно важкі та малоємні свинцево-кислотні або нікель-цинкові) ще не могли забезпечити необхідний запас ходу та динаміку, щоб ефективно конкурувати з бензиновими авто після стабілізації цін на нафту.

П'ятий етап у розвитку електромобілів (після 1982–2010 рр.) характеризується загальним спадом виробництва та зниженням інтересу до масової електрифікації, що було спричинено двома ключовими факторами: різкою зміною кон'юнктури на нафтовому ринку (стабілізація цін на нафту після криз 70-х) та невдачами в експлуатації дослідих партій, викликаними критичними недоліками наявних акумуляторних батарей (АКБ). Однак, цей період став часом знакових експериментів, які, попри невдалий комерційний фінал, продемонстрували потенціал технології.

Найбільшої уваги заслуговує електромобіль EV1 (Electric Vehicle 1), розроблений компанією General Motors (GM). Виробництво EV1 розпочалося у 1997 році, а друге покоління вийшло у 1999 році. Автомобіль був доступний лише в Каліфорнії та Аризоні і виключно на умовах лізингу.



Рис. 7 – Електромобіль EV1

Технічно EV1 був інноваційним: він мав обтічний кузов, виготовлений із просторової зварної несучої конструкції з алюмінієвого сплаву, що важила лише 132 кг, при загальній вазі авто близько 1400 кг. Рушійною силою був трифазний електромотор змінного струму потужністю 102 кВт (138 к.с.), що дозволяло розганятися до 96 км/год (60 миль/год) за 9 секунд при обмеженій максимальній швидкості 129 км/год.

Перше покоління (вироблено 660 авто) оснащувалося звичайними свинцево-кислотними акумуляторами, забезпечуючи запас ходу лише 90–120 км.

Друге покоління (вироблено 457 авто) отримало значно вдосконалені нікель-метал-гідридні (NiMH) батареї вагою 416 кг та енергоємністю 18,7 кВт·год, що підвищило запас ходу до 240 км – показник, який був революційним для того часу. Всього було вироблено 1117 одиниць EV1.

Незважаючи на технологічний прорив, у 2003 році програма EV1 була примусово закрита, а більшість електромобілів, незважаючи на протести користувачів, були вилучені та знищені. До наших днів у музеях збереглися лише дві одиниці. Цей сумнозвісний епізод став символом невдачі п'ятого етапу, підкреслюючи, що політична воля та технології АКБ того часу ще не були готові до масової електрифікації.

Шостий етап розвитку електромобілів, який умовно називають Відродженням, розпочався приблизно після 2010 року і триває дотепер.

Його ключовою передумовою стало заснування у 2003 році в Кремнієвій долині компанії Tesla Motors (США), названої на честь Ніколи Тесли, яка від самого початку орієнтувалася виключно на виробництво електромобілів. Саме Tesla стала каталізатором сучасної автомобільної революції.

У 2006 році компанія представила свій перший спорткар – Tesla Roadster, який довів, що електромобіль може бути швидким і бажаним. Roadster оснащувався 3-фазним 4-полюсним асинхронним двигуном змінного струму з повітряним охолодженням, який видавав потужність до 248 к.с. (185 кВт) та крутний момент 270 Н·м. Крутний момент передавався через одноступінчастий редуктор, забезпечуючи розгін до 100 км/год лише за

3,9 с, при цьому максимальна швидкість була обмежена на позначці 201 км/год, а запас ходу становив вражаючі 300 км.

Другою, ще більш знаковою моделлю, став Tesla Model S, преміум-класу у вигляді 5-дверного ліфтбека. Його зовнішній вигляд мав кодову назву «*White star*». Представлений на виставці у Франкфурті у 2009 році, Model S надійшов у продаж у 2012 році, а виробництво було налагоджено в Каліфорнії та Голландії. Попит на Model S був величезним, особливо в Норвегії та Каліфорнії, що призвело до темпів виробництва близько 1000 машин на тиждень. З 2012 по 2016 рік по всьому світу було продано близько 50 тис. одиниць.



Рис. 8 - Електромобіль Tesla Model S

Модель S швидко завоювала визнання, отримавши нагороду «*Автомобіль року 2013*» та була визнана найбезпечнішим автомобілем у США Національним агентством з безпеки дорожнього руху. Її технічні характеристики вражали: розгін від 0 до 100 км/год займав від 2,28 до 4,4 с, максимальна швидкість досягала 201–250 км/год, а запас ходу складав до 506 км (за американськими нормами) або 613 км (за європейськими нормами), при цьому повний заряд через станцію SuperCharger займав лише 35 хвилин.

Окрім Tesla, в контексті шостого етапу відродження електричного транспорту неможливо оминати увагою Nissan Leaf. Цей електромобіль японського концерну Nissan, серійно випускається з весни 2010 року, і наразі є найбільш поширеним у світі в сегменті масових електрокарів, ставши справді першим глобальним масовим електромобілем.

Світова прем'єра Leaf відбулася на міжнародному Токійському автосалоні у 2009 році. Його успіх був одразу визнаний галузевими експертами: наприкінці листопада 2010 року Nissan Leaf став першим електромобілем-переможцем конкурсу «Європейський автомобіль 2011 року» (*European Car of the Year*), а у квітні 2011 року здобув перемогу і в конкурсі «Всесвітній автомобіль 2011 року» (*World Car of the Year*).



Рис. 9 – Електромобіль Nissan Leaf

Технічно Nissan Leaf першого покоління оснащувався електродвигуном, що розвиває 80 кВт потужності та 280 Нм крутного моменту. Живлення двигуна здійснювалося від літій-іонної батареї ємністю 24 кВт·год, яка важила 300 кг і була розташована під підлогою салону. Таке розташування забезпечує низький центр ваги і, як наслідок, непогану керованість.

Електромобіль обладнано двома гніздами для зарядки: одне – для зарядки від однофазної мережі (звичайна розетка), інше – спеціальний роз'єм для швидкої зарядки від трифазної мережі (японський стандарт CHAdeMO). Від звичайної електричної мережі 220 В акумулятор повністю заряджається приблизно за 8 годин, а запасу ходу повністю зарядженої батареї вистачає на 160 км. Своїм масовим поширенням Nissan Leaf суттєво сприяв популяризації електромобілів серед широкого загалу споживачів по всій земній кулі.

Серед ключових гравців шостого етапу відродження електромобілів особливе місце займає китайська компанія BYD AUTO, яка стала світовим лідером у виробництві електротранспорту.

У 2003 році BYD вийшла на автомобільний ринок, і вже незабаром стала єдиним китайським виробником, який регулярно експонує власні автомобілі на Женевському автомобільному салоні та має представництва на всіх континентах. З 2008 року фірма серійно виготовляє та реалізує гібридні авто, а з 2009 року розпочато створення чистих електромобілів.

Стрімкий розвиток BYD привернув увагу світових гігантів: у 2010 році було розпочато спільний проєкт з виробництва електромобілів з Daimler AG. Того ж 2010 року фірма виготовила понад півмільйона автомобілів і посіла 1 місце у списку найбільш технологічних компаній світу за версією *Business Week*, випередивши таких гігантів як Apple і Google, а також 2 місце серед автомобільних компаній, обійшовши Ford, Volkswagen і BMW.

Однією з перших і найбільш знакових електричних моделей став BYD E6. Прототип моделі був представлений на автосалоні в Пекіні у 2008 році, передсерійна версія дебютувала у Детройті у січні 2010 року, а вже через рік модель була готова до масового виробництва. BYD E6 оснащений електромотором потужністю 101 к.с. (75 кВт; 450 Нм), який живиться від залізо-фосфатного акумулятора власної розробки. Ця технологія дозволяє електромобілю проїхати в міських умовах до 300 км без підзарядки, розганяючись до 100 км/год за 12 с, при максимальній швидкості 140 км/год. Таким чином, BYD закріпила позиції Китаю як ключового глобального гравця у сфері як виробництва компонентів (АКБ), так і готового електричного транспорту.



Рис. 10 – Електромобіль BYD E6

Усі ці події яскраво свідчать лише про одне: за електромобілями – майбутнє.

ДО2 Класифікація сучасних екологічних транспортних засобів

Під терміном «електромобілі» слід розуміти всі автомобілі, які приводяться в рух за допомогою електричної енергії (включаючи гібриди та авто на паливних елементах). Класифікація відбувається відповідно до того, яким чином на електричний привід подається необхідна електроенергія.

Гібридні автомобілі (часткова електрифікація)

Гібридні автомобілі представляють собою поєднання двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигуна, і їхня класифікація базується на ступені використання електричної тяги.

Мікро гібрид – це найменш електрифікований тип, де електричні компоненти використовуються виключно для функції «Старт/Стоп». Принцип його роботи полягає в автоматичному вимкненні ДВЗ, коли автомобіль зупиняється (наприклад, на світлофорі), та його миттєвому перезапуску, коли водій відпускає гальмо або натискає на акселератор. Хоча це забезпечує невелику економію палива, особливо в умовах міських заторів, ця система суттєво збільшує навантаження на стартер і акумуляторну батарею (АКБ), вимагаючи використання спеціальних, більш витривалих батарей та інноваційних електронних методів контролю їхнього стану.

Середній гібрид (Mild Hybrid) є складнішою системою, що використовує електродвигун потужністю, як правило, від 30 до 60 кВт, який підтримує (асистує) ДВЗ. Електродвигун забезпечує додатковий крутний момент, особливо у фазах інтенсивного прискорення, що підвищує загальну ефективність та динаміку. Ключовою особливістю є те, що керувати виключно на електриці неможливо – електродвигун завжди працює спільно з ДВЗ або лише як генератор. Середні гібриди обов'язково включають систему рекуперативного гальмування, яка перетворює кінетичну енергію уповільнення на електричну, повертаючи її в АКБ.



Рис. 11 – Гібридний автомобіль Toyota Prius

Повний гібрид (HEV) – це найвищий ступінь гібридизації без зовнішнього заряджання. Автомобілі такого типу здатні працювати виключно від акумулятора на коротких відстанях та низьких швидкостях (зазвичай до 40-50 км/год), що робить їх надзвичайно високоефективними для міської їзди. Система контролю повністю вимикає ДВЗ не тільки на зупинках, але й при русі на малій швидкості, де електродвигун набагато ефективніший. Це забезпечує значне зниження викидів та витрат палива. Найвідомішим і найбільш успішним прикладом повного гібридного автомобіля є Toyota Prius.

Плагін-гібриди та авто зі збільшеним ходом

Ця група моделей представляє гібридні автомобілі з більшою батареєю та значним акцентом на пробіг на чистій електриці, але вони суттєво відрізняються принципом роботи трансмісії.

Плагін-гібрид (PHEV) – це автомобіль, який поєднує повний гібридний привід із можливістю зовнішнього заряджання. Ключовою особливістю PHEV є те, що його акумулятор, завдяки більшій ємності, може заряджатися безпосередньо від зовнішньої розетки або спеціальної зарядної станції, а також, як і звичайний гібрид, від ДВЗ і рекуперативного гальмування. Транспортний засіб зазвичай запрограмований працювати на чистій електричній тязі протягом усього доступного запасу ходу (який може становити від 30 до 100 км). Лише після того, як батарея розрядиться до мінімального рівня, автомобіль автоматично перемикається в режим повного гібрида (HEV), використовуючи ДВЗ для руху та/або підтримки заряду. PHEV ідеально підходить для щоденних поїздок у межах міста, які можна покрити виключно на електриці, зберігши при цьому перевагу ДВЗ для далеких подорожей.

Електромобіль зі збільшеним запасом ходу (RXBEV – Range Extender Battery Electric Vehicle) є, по суті, повноцінним електромобілем, який використовує ДВЗ як допоміжний генератор, що робить його «гібридом навпаки». На відміну від PHEV, у RXBEV колеса приводяться в рух виключно електродвигуном. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) ніколи не підключений безпосередньо до трансмісії. ДВЗ вступає в дію лише після того, як основна акумуляторна батарея (АКБ) виснажена: він працює як бортовий генератор, виробляючи електроенергію для живлення електродвигуна або підзарядки АКБ, що дозволяє значно збільшити запас ходу без потреби в зовнішньому заряджанні. Завдяки цьому RXBEV зберігає всі переваги динаміки та ефективності чистого електромобіля. Класичним прикладом цієї конструкції є Chevrolet Volt (першого покоління).



Рис. 12 - Chevrolet Volt (першого покоління)

Чисті електромобілі (Zero Emission)

Група чистих електромобілів (Zero Emission Vehicles) включає транспортні засоби, які використовують електрику як єдине джерело енергії для руху, і не мають викидів шкідливих речовин у місці експлуатації.

Акумуляторний електромобіль (BEV) – це класичний, найбільш поширений тип сучасного електромобіля, який не містить жодного двигуна внутрішнього згоряння. Він використовує електрику, що зберігається виключно у великій акумуляторній батареї (АКБ), для живлення електродвигуна, який безпосередньо обертає колеса. Коли заряд АКБ вичерпано, вона заряджається виключно від зовнішньої електромережі – чи то через звичайну побутову розетку, чи через спеціалізовану зарядну станцію. Сучасні BEV відзначаються високою ефективністю, потужною динамікою та значним запасом ходу, що робить їх ключовими гравцями в електричній революції.

Електромобіль на паливних елементах (FCBEV – Fuel Cell Battery Electric Vehicle) також використовує електричний привід для руху, але джерелом енергії є не лише акумулятор, а й водневі паливні елементи. У цій системі водень (H_2) подається в паливний елемент, де відбувається електрохімічна реакція з киснем (O_2), унаслідок чого виробляється електроенергія, а єдиним «вихлопом» є чиста вода (H_2O). Ця енергія живить електродвигун, а акумуляторна батарея зазвичай виступає як буфер для згладжування пікових навантажень та рекуперації енергії гальмування. Перевага FCBEV полягає у швидкому заправленні (порівняно з часом заряджання BEV) та великому запасі ходу, хоча їхнє масове поширення обмежене браком розвинутої інфраструктури водневих заправних станцій.

ДОЗ Порівняльний аналіз ДВЗ, гібридних і електричних автомобілів

Для повного розуміння ринку розглянемо основні відмінності між автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), гібридними автомобілями (HEV/PHEV) та чистими електромобілями (BEV).

Порівняння проведемо за сімома ключовими параметрами, які визначають їхні експлуатаційні, економічні та екологічні характеристики: джерело руху, паливо/енергія, викиди (у місці експлуатації), енергоефективність, обслуговування та експлуатаційні витрати, обмеження дальності та заряджання, шумове забруднення.

Розпочнемо з джерела руху. Цей параметр є фундаментальним, оскільки він визначає не лише спосіб приведення автомобіля в рух, але й конструкцію всієї його трансмісії, керування та динамічні характеристики.

Автомобіль з ДВЗ залежить виключно від перетворення хімічної енергії палива на механічну роботу. Через вузький робочий діапазон ефективності поршневого двигуна, такий автомобіль вимагає наявності складної багатоступеневої трансмісії (автоматичної, механічної або варіатора). Ця трансмісія необхідна для того, щоб постійно підтримувати оберти ДВЗ у його найбільш ефективному діапазоні та забезпечувати адекватний крутний момент на колесах при різних швидкостях руху.

Гібридний автомобіль (HEV/PHEV) використовує комбінацію ДВЗ та одного або декількох електродвигунів. У повних гібридах (HEV) та плагін-гібридах (PHEV), які мають паралельно-послідовну архітектуру, електродвигун може працювати самостійно на низьких швидкостях, тоді як ДВЗ вмикається для руху на високих швидкостях або для заряджання батареї. Керування потужністю в гібридах вимагає складної електронної системи розподілу (часто за допомогою планетарної передачі), яка безперервно оптимізує передачу потужності між трьома джерелами: ДВЗ, електродвигуном та генератором.

Чистий електромобіль (BEV) приводиться в рух виключно електродвигунами. Його ключова перевага полягає у характеристиках електродвигуна: він забезпечує максимальний крутний момент уже з нульових обертів і працює ефективно у дуже широкому діапазоні швидкостей. Завдяки цьому BEV має значно простішу трансмісію, яка зазвичай обмежується одноступеневим редуктором. Це усуває потребу у складній коробці передач, зменшуючи кількість рухомих частин, що зношуються, і спрощуючи механізм.

Далі розглянемо параметр – паливо/енергія. Залежність транспортних засобів від джерела енергії є критичною, оскільки вона прямо впливає на експлуатаційні витрати, енергетичну безпеку та вплив на навколишнє середовище.

ДВЗ-автомобіль повністю залежить від викопного палива – бензину або дизелю, які є кінцевими та невідновлюваними ресурсами. Ціна на це паливо схильна до значних і непередбачуваних коливань, зумовлених геополітичною ситуацією, обмеженістю світових запасів нафти та нестабільністю ринків, що робить прогнозування експлуатаційних витрат складним і ризикованим.

Гібридний автомобіль використовує подвійну систему, поєднуючи бензин як основне джерело енергії з електрикою. Електрична енергія може бути або самостійно регенована системою рекуперативного гальмування під час руху (у всіх гібридах), або, у випадку плагін-гібридів (PHEV), заряджена безпосередньо з зовнішньої електромережі. Це забезпечує значну енергетичну гнучкість, дозволяючи водію обирати найвигідніший на даний момент спосіб поповнення енергії, знижуючи залежність від постійно високих цін на нафту.

Чистий електромобіль (BEV), навпаки, залежить виключно від електричної енергії, яка зберігається у великій бортовій акумуляторній батареї. Це дає змогу використовувати більш стабільні та дешеві джерела енергії, такі як енергія, вироблена з відновлюваних джерел (вітрова, сонячна) чи атомна енергія. Завдяки цьому, вартість «палива» для BEV (вартість електроенергії на 100 км) є, як правило, значно нижчою порівняно з витратами на бензин/дизель для ДВЗ.

Параметр викиди (у місці експлуатації) є критичним екологічним фактором, який має прямий і значний вплив на якість повітря, особливо у густонаселених міських центрах.

Автомобілі з ДВЗ є основними джерелами високих викидів токсичних газів, які утворюються в процесі згоряння палива, включаючи оксиди азоту (NOx), чадний газ (CO), неспалені вуглеводні та тверді частинки (PM). Ці викиди, що виходять безпосередньо з вихлопної труби, є значною причиною забруднення повітря та сприяють виникненню респіраторних і серцево-судинних захворювань серед міського населення.

Гібридні автомобілі суттєво знижують ці викиди, проте ступінь зниження залежить від режиму роботи. У чисто електричному режимі (особливо у PHEV на зарядженій батареї) викиди дорівнюють нулю. Однак, при активації ДВЗ для руху на високій швидкості або для

підзарядки акумулятора, викиди, хоча й контрольовані сучасними системами фільтрації, все ж таки з'являються, що обмежує їхню повну екологічну чистоту.

Чисті електромобілі (BEV) мають нульові викиди (Zero Emission) у місці експлуатації. Це означає абсолютну відсутність будь-яких вихлопних газів чи токсичних речовин, що викидаються безпосередньо транспортним засобом. Ця перевага є головною екологічною перевагою BEV, роблячи їх ідеальним рішенням для покращення якості повітря та зниження рівня смогу в міському середовищі. (Слід зазначити, що опосередковані викиди пов'язані лише з виробництвом електроенергії, а не з експлуатацією авто).

Оцінюючи енергоефективність, ми визначаємо, яка частина енергії, що міститься в паливі або батареї, фактично перетворюється на корисний рух, а не втрачається у вигляді тепла.

ДВЗ-автомобіль показує відносно низький результат, оскільки лише близько 25–35% енергії, що міститься в бензині чи дизелі, перетворюється на рух. Переважна більшість енергії втрачається у вигляді надлишкового тепла та шуму в процесі згорання та роботи механічних частин.

Гібридні автомобілі демонструють середню або високу ефективність порівняно з чистими ДВЗ. Це досягається завдяки двом основним факторам: по-перше, ДВЗ може працювати в більш вузькому, оптимальному діапазоні обертів; по-друге, вони мають функцію рекуперативного гальмування, яка перетворює кінетичну енергію, що зазвичай втрачається під час гальмування, назад в електричну енергію, повертаючи її в акумулятор.

Чисті електромобілі (BEV) є найбільш ефективними, перетворюючи приблизно 80–90% енергії, взятої з батареї, безпосередньо на рух. Електродвигун за своєю природою набагато краще перетворює електричну енергію на механічну роботу, і це, у поєднанні з рекуперативним гальмуванням, гарантує мінімальні втрати енергії в процесі експлуатації.

Щодо обслуговування та експлуатаційних витрат, існує значна різниця у довгострокових фінансових зобов'язаннях власників різних типів автомобілів.

ДВЗ-автомобіль вимагає високих і регулярних витрат. Це обумовлено необхідністю постійної заміни витратних матеріалів (моторного мастила, паливних і повітряних фільтрів, свічок запалювання) та регулярного обслуговування складних механізмів, таких як багатоступенева трансмісія та система охолодження двигуна. Ці регулярні процедури ТО є обов'язковими для підтримки працездатності автомобіля.

Гібридні автомобілі мають середні або високі витрати на обслуговування. З одного боку, ДВЗ працює менше, що може зменшити його зношення. З іншого боку, наявність двох силових установок (ДВЗ і електромотор) та складної керуючої електроніки потенційно збільшує вартість ремонту та діагностики у разі виникнення несправностей.

Чисті електромобілі (BEV) демонструють мінімальні витрати на обслуговування. Відсутність мастила, фільтрів, свічок і складної коробки передач значно зменшує кількість деталей, що зношуються і потребують заміни. Основними статтями регулярних витрат є лише шини, гальмівна рідина та, іноді, рідина охолодження батареї. Крім того, вартість "палива" (електрики) є значно нижчою, ніж вартість бензину, що суттєво зменшує загальні експлуатаційні витрати.

Наступний параметр – обмеження дальності та заряджання. Цей фактор є ключовим для прийняття рішення про купівлю, оскільки він впливає на зручність використання автомобіля для далеких поїздок.

ДВЗ-автомобілі практично не мають обмежень дальності. Це забезпечується завдяки широко розвиненій інфраструктурі АЗС по всьому світу та швидкому часу заправлення, який зазвичай становить лише кілька хвилин. Це робить подорожі на великі відстані максимально зручними.

Гібридні автомобілі мають двоїстий характер. Плагін-гібриди (PHEV) обмежені пробігом на чистій електриці (який може становити від 30 до 100 км), але вони можуть долати необмежені великі відстані за рахунок бензину, усуваючи так звану «тривогу запасу ходу». Час поповнення енергії може бути як швидким (заправка бензином), так і тривалим (заряджання від мережі – від кількох годин).

Чисті електромобілі (BEV) обмежені запасом ходу акумуляторної батареї, хоча сучасні моделі вже пропонують 300-600+ км пробігу. Вони повністю залежать від інфраструктури зарядних станцій, яка постійно розширюється, але ще не досягла щільності мережі АЗС. Час заряджання BEV значно довший, ніж час заправлення ДВЗ: від 20–40 хвилин (для поповнення 20%–80% заряду на швидких DC-станціях) до багатьох годин (для повного заряджання від AC-мережі вдома чи на роботі).

Завершуючи аналіз, розглянемо шумове забруднення. Цей параметр має прямий вплив на якість життя міських мешканців і є важливою екологічною складовою. ДВЗ-автомобіль створює високий рівень шуму, особливо під час розгону, коли двигун працює на високих обертах, а також від механічних частин трансмісії. Це шумове забруднення є значним фактором, який погіршує якість життя, створюючи акустичний дискомфорт у населених пунктах.

Гібридні автомобілі є значно тихішими. Вони можуть працювати майже безшумно у чисто електричному режимі на низьких швидкостях. Шум з'являється лише при активації та роботі ДВЗ, що зазвичай відбувається на вищих швидкостях або під час інтенсивного прискорення.

Чисті електромобілі (BEV) є практично безшумними. Електродвигуни працюють дуже тихо, і на низьких швидкостях єдиним помітним шумом може бути лише легкий гул електричної системи. На високих швидкостях домінуючим стає шум, створюваний тертям шин об дорожнє покриття та аеродинамічним опором. Така безшумність, хоч і комфортна для водія та мешканців, викликала занепокоєння щодо безпеки. Як наслідок, законодавство вимагає встановлення систем звукового оповіщення (Acoustic Vehicle Alerting System, AVAS) для безпеки пішоходів та велосипедистів на низьких швидкостях (зазвичай до 30 км/год).

ДО4 Переваги та недоліки гібридного та електричного транспорту

Гібридні автомобілі є проміжним технологічним рішенням, що пропонує унікальний набір компромісів.

Головна і найбільш вагома перевага гібридного транспорту, що робить його привабливим для широкого кола споживачів, – це ефективне усунення «тривоги запасу ходу». Це психологічний бар'єр, який часто стримує потенційних покупців чистих електромобілів (BEV). Завдяки наявності як двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), так і паливного бака, гібридні автомобілі, особливо плагін-гібриди (PHEV) і повні гібриди (HEV), надають водіям повну свободу пересування. Навіть якщо заряд акумулятора повністю вичерпаний, ДВЗ автоматично вступає в роботу, забезпечуючи подальший рух без затримок. Це дозволяє здійснювати будь-які далекі поїздки, повністю покладаючись на широко розвинену інфраструктуру АЗС, де поповнення палива займає лише кілька хвилин. Водієві не потрібно турбуватися про пошук спеціалізованих швидкісних зарядних станцій чи про тривалий час очікування, пов'язаний із заряджанням батареї. Таким чином, гібрид забезпечує найкраще з обох світів: ефективність електричної тяги для щоденних коротких поїздок і надійність та універсальність ДВЗ для подорожей на великі відстані.

Ключові переваги гібридів не обмежуються лише автономністю; ця надійність доповнюється високою паливною ефективністю порівняно з чистими ДВЗ-автомобілями, особливо у міському циклі їзди. Така економія досягається завдяки інтеграції електричних компонентів, які допомагають ДВЗ працювати оптимально.

По-перше, гібриди максимально використовують електродвигун на низьких швидкостях, під час рушання з місця та маневрування. Це критично, оскільки саме на цих режимах ДВЗ є найменш ефективним, витрачаючи багато палива. Використання електротяги в місті дозволяє ДВЗ залишатися вимкненим або працювати лише для заряджання акумулятора, значно зменшуючи витрату бензину.

По-друге, гібриди оснащені системою рекуперативного гальмування, яка є ключовим фактором енергозбереження. Коли водій уповільнюється або гальмує, електродвигун працює

як генератор, перетворюючи кінетичну енергію, що зазвичай втрачається як тепло, назад в електричну енергію та повертаючи її в акумулятор. Ця відновлена енергія потім повторно використовується для руху, що робить гібридний транспорт ідеальним для циклів їзди "старт-стоп".

Крім того, гібриди, особливо плагін-гібриди (PHEV), значно сприяють екологічності у місті. Це відбувається завдяки їхній здатності працювати у режимі нульових викидів.

У міських умовах, де часті зупинки, низька середня швидкість та висока концентрація автомобілів призводять до значного забруднення повітря, гібриди використовують накопичену електричну енергію. PHEV, завдяки більшій батареї, можуть проїхати відносно велику дистанцію (до десятків кілометрів) виключно на електротязі. У цьому режимі вони не спалюють паливо і, відповідно, не виділяють токсичних газів (NO_x, CO) та твердих частинок. Це дозволяє ефективно знижувати рівень шумового та повітряного забруднення в межах населених пунктів, покращуючи якість життя міських мешканців у тих зонах, де екологічна ситуація є найбільш критичною.

Серед усіх гібридних автомобілів, саме плагін-гібриди (PHEV) пропонують максимальну гнучкість експлуатації. Ця перевага забезпечує власнику можливість поєднувати економію з універсальністю.

Власник PHEV може щоденно їздити на дешевій електриці, якщо його пробіг не перевищує запас ходу батареї (наприклад, поїздки на роботу, в магазин). Заряджаючи автомобіль вночі від побутової розетки або на спеціалізованих станціях, він суттєво знижує щоденні витрати на «паливо» до рівня, значно нижчого, ніж вартість бензину.

Водночас, ця гнучкість означає, що водій завжди має можливість використання бензину для будь-яких тривалих поїздок. Коли потрібно вирушити в далеку подорож, PHEV функціонує як звичайний гібрид. Водієві не потрібно зупинятися для багатогодинної зарядки, що робить PHEV ідеальним компромісом для тих, хто прагне екологічності у повсякденному житті, але потребує універсальності для відпусток і ділових поїздок без обмежень.

На додаток до економії палива та гнучкості, ДВЗ у гібридах працює менше і часто в оптимальному режимі, що потенційно зменшує його зношення та продовжує термін служби.

У гібридних автомобілях електродвигун виконує значну частину роботи під час рухання з місця, на малих швидкостях та в режимі «старт-стоп», тобто саме тоді, коли ДВЗ зазнає найбільшого навантаження і зношується найшвидше. Коли ж ДВЗ активується, електронна система управління прагне підтримувати його роботу у вузькому та найбільш ефективному діапазоні обертів. Таким чином, ДВЗ не витрачає ресурс на роботу в неефективних або високо-навантажених режимах. Це призводить до меншого загального пробігу на лічильнику роботи двигуна та до зменшення теплового та механічного навантаження на його компоненти, що у довгостроковій перспективі може позитивно позначитися на вартості обслуговування.

Однак, гібридний транспорт має і суттєві недоліки.

Ця складність виникає через те, що гібридний автомобіль поєднує в собі елементи двох різних технологій. Він вимагає наявності двох повноцінних силових установок (ДВЗ та електродвигуна), а також складної електронної системи управління потужністю та інверторів, які постійно оптимізують розподіл енергії між ними. На додаток, потрібна відносно велика акумуляторна батарея. Ця інтеграція компонентів призводить до неминучого збільшення загальної ваги автомобіля. Ця зайва вага частково нівелює економію палива, особливо при русі на високій швидкості або в гору. Крім того, наявність більшої кількості високотехнологічних і складних вузлів підвищує потенційну вартість ремонту та обслуговування, оскільки діагностика несправностей часто вимагає спеціалізованого обладнання та кваліфікованого персоналу.

Ця ж технологічна складність безпосередньо зумовлює і вищу початкову вартість порівняно з аналогічними моделями з чистим ДВЗ.

Для виробництва гібридного автомобіля, на відміну від звичайного бензинового, необхідно інтегрувати дорогі та високотехнологічні компоненти, а саме: потужний

електродвигун, інвертор та, найголовніше, літій-іонну або нікель-метал-гідридну акумуляторну батарею великої ємності. Виробництво цих компонентів, особливо батареї, є капіталомістким процесом. У результаті, кінцева ціна гібридного автомобіля на ринку часто значно перевищує вартість зіставного за класом і розміром автомобіля, оснащеного лише ДВЗ. Це стає серйозним бар'єром для масового споживача, який повинен зважити, чи покриє економія палива у довгостроковій перспективі більші початкові інвестиції.

Крім того, попри електрифікацію, гібриди все ще залежать від викопного палива і, як наслідок, генерують викиди, коли ДВЗ активний, що обмежує їхню екологічну чистоту порівняно з чистими електромобілями. Хоча гібриди значно чистіші за звичайні бензинові чи дизельні авто, вони не можуть називатися автомобілями з нульовими викидами (Zero Emission Vehicles). Ця залежність від бензину означає, що їхня експлуатація продовжує сприяти глобальному забрудненню, а власники залишаються чутливими до коливань цін на нафту. Для досягнення максимальної екологічності водій має постійно забезпечувати заряджання PHEV від мережі; в іншому випадку, коли ДВЗ працює як генератор або приводить колеса в рух, гібридний автомобіль функціонально не відрізняється від ДВЗ щодо виділення вихлопних газів.

Слід також зазначити, що у звичайних гібридів (HEV) пробіг на чистій електриці є вкрай обмеженим, як за відстанню, так і за швидкістю. Батареї у HEV мають невелику ємність і призначені лише для допомоги ДВЗ та рекуперації енергії, тому вони можуть забезпечити рух лише на кілька кілометрів і зазвичай до швидкості близько 40–50 км/год. Це означає, що водій не може покладатися на HEV для повноцінної, тривалої їзди без викидів. Крім того, на постійній високій швидкості (на трасі), де рекуперативне гальмування використовується рідко, а електродвигун виконує допоміжну функцію, ефективність HEV часто не має значної переваги перед сучасними, високотехнологічними чистими ДВЗ-автомобілями. У цьому режимі більшу частину роботи виконує бензиновий двигун, а зайва вага батареї та електромотора навіть може стати на заваді економії палива.

Чистий електричний транспорт, або BEV, представляє собою найбільш інноваційний сегмент сучасного автомобілебудування, але його експлуатація також пов'язана з певними викликами.

Головна і найбільш очевидна перевага BEV – це нульові викиди у місці експлуатації. На відміну від будь-якого автомобіля з ДВЗ, включаючи гібриди, BEV не створюють жодних вихлопних газів, токсичних речовин чи твердих частинок. Ця абсолютна чистота робить їх ідеальним рішенням для значного покращення якості повітря у містах, де забруднення від транспорту є найбільшою проблемою. Перехід на BEV прямо сприяє зниженню рівня смогу та покращенню здоров'я населення.

З цим тісно пов'язана і перевага низьких експлуатаційних витрат. По-перше, вартість електроенергії для заряджання набагато нижча, ніж вартість бензину чи дизелю для покриття тієї ж дистанції, що забезпечує значну економію на "паливі". По-друге, витрати на технічне обслуговування (ТО) значно знижуються через простоту конструкції BEV. Відсутність складних механізмів, таких як ДВЗ, масляних фільтрів, свічок запалювання, ременів ГРМ та багатоступеневої трансмісії, різко зменшує перелік деталей, що зношуються і потребують регулярної заміни, роблячи володіння BEV вигіднішим у довгостроковій перспективі.

Крім того, BEV демонструють високу енергоефективність, що є технологічною перевагою, недоступною для ДВЗ. Електродвигуни здатні перетворювати на рух до 90% енергії батареї, що різко контрастує з неефективністю ДВЗ, які втрачають більшість енергії у вигляді тепла. Ця ефективність у поєднанні з системою рекуперативного гальмування дозволяє максимально використовувати запас енергії.

Водночас, BEV мають чудову динаміку та комфорт. Електродвигуни забезпечують миттєвий і максимальний крутний момент вже з нульових обертів, оскільки немає потреби чекати, поки двигун набере оберти. Це гарантує швидкий розгін і високу маневреність, що є великою перевагою як у місті, так і на трасі. Додатковою перевагою є винятковий акустичний комфорт: відсутність шуму від двигуна під час роботи створює тиху атмосферу в салоні, що значно покращує якість поїздки для водія та пасажирів.

Це обмеження, хоча й постійно зменшується завдяки технологічному прогресу, залишається головною причиною "тривоги запасу ходу". Попри постійне зростання пробігу сучасних моделей (які часто досягають 400–600 км і більше на одному заряді), для багатьох споживачів це все ще залишається психологічним та практичним бар'єром. На відміну від заправки бензином, яка займає кілька хвилин, поповнення заряду на далекій відстані вимагає значного планування. Це особливо відчутно при поїздках на великій відстані або в регіонах з низькою щільністю зарядних станцій, де несподівані об'їзди або затори можуть призвести до ризику повного розряду батареї, унеможливаючи подальший рух.

З обмеженням запасу ходу тісно пов'язаний і недолік, що стосується часу та інфраструктури заряджання. Це один із головних логістичних викликів для власників BEV.

На відміну від заправки бензином, яка займає лічені хвилини, час, необхідний для поповнення заряду, є значно довшим. Залежно від типу зарядної станції, цей час може варіюватися від 20–40 хвилин (на потужних швидкісних DC-станціях для поповнення заряду з 20% до 80%) до багатьох годин (при заряджанні від повільної AC-мережі, наприклад, вдома або на роботі). Цей тривалий час очікування вимагає від водіїв ретельнішого планування маршруту та зупинок.

Крім того, хоча мережа швидкісних зарядних станцій постійно розширюється, вона ще не досягла щільності традиційних АЗС, особливо у малонаселених або віддалених регіонах. Це створює "зарядну пустелю" на певних маршрутах, а в густонаселених містах може виникати проблема черг на популярних зарядних станціях.

Ще одним важливим недоліком є те, що ефективність та запас ходу акумуляторної батареї можуть суттєво знижуватися при екстремально низьких або високих температурах.

Акумуляторні батареї, що використовуються в BEV, працюють найефективніше в певному помірному температурному діапазоні. При низьких температурах хімічні реакції всередині батареї сповільнюються, що знижує її доступну ємність і, відповідно, запас ходу. Крім того, значна частина енергії батареї витрачається на її підігрів (для забезпечення оптимальної роботи) та на обігрів салону, що додатково скорочує пробіг. Так само, високі температури можуть викликати перегрів батареї, що вимагає її охолодження (також за рахунок енергії батареї) і може прискорити деградацію ємності батареї з часом. Це є важливим фактором для регіонів із суворим кліматом (як холодним, так і надмірно спекотним), де водіям слід очікувати суттєвого зменшення фактичного пробігу.

І, нарешті, значним економічним бар'єром є висока початкова вартість BEV. Ця ціна часто перевищує вартість зіставних автомобілів з ДВЗ, що обмежує доступність електромобілів для масового споживача.

Ця вища вартість спричинена насамперед ціною виробництва великих літій-іонних батарей. Акумуляторний блок є найбільш дорогим компонентом електромобіля. Хоча ціни на батареї постійно знижуються завдяки вдосконаленню технологій та нарощуванню обсягів виробництва, вартість сировини (літій, кобальт, нікель) і складність хімічних процесів усе ще роблять початкову інвестицію в BEV суттєво вищою. Покупці змушені зважувати ці більші початкові витрати проти обіцяної нижчої вартості експлуатації та обслуговування, щоб визначити, коли окупиться інвестиція.

ДО5 Екологічні аспекти експлуатації

Оскільки сучасна культура і технології продовжують розвиватися, зростаюча присутність глобального потепління і незворотні зміни клімату викликають все більшу стурбованість у населення світу. Країни всього світу працюють над тим, щоб радикально скоротити викиди CO₂, а також інших шкідливих забруднювачів навколишнього середовища. Серед найбільш помітних виробників цих забруднювачів – автомобілі, які приводяться в рух двигунами внутрішнього згоряння і викидають шкідливі для здоров'я гази. За різними даними, на легкові та вантажні автомобілі припадає майже 25% викидів CO₂, а інші транспортні засоби додають ще 12%. Однією з найбільш життєздатних альтернатив світової

залежності від стандартних автівок на ДВЗ є електромобілі (EV), що включають чисті акумуляторні електромобілі (BEV) та плагін-гібриди (PHEV).

Для всебічної оцінки впливу електромобілів на навколишнє середовище, необхідно розглянути їхні характеристики за повним життєвим циклом, зважаючи на такі ключові питання:

- 1) забруднення відпрацьованими газами автомобілів;
- 2) джерела енергії;
- 3) відпрацьовані акумулятори

Отже, почнемо з аналізу широко відомих фактів, щоб обґрунтувати перевагу електромобілів. Електромобілі дуже сильно знижують викиди CO₂ та токсичних газів, оскільки вони працюють на електриці і не виділяють вихлопних газів. Якщо проводити оцінку лише за цим фактором, відомим як Tank-to-Wheel (від баку до колеса), то електромобілі є набагато більш екологічними, ніж звичайні бензинові чи дизельні автомобілі, оскільки їхній вплив на якість повітря у містах дорівнює нулю.

Проте, при оцінці екологічності електромобіля, нам також необхідно прийняти до уваги викиди за повним життєвим циклом, відомі як «well-to-wheel» (від свердловини/джерела до колеса). Це всеосяжний термін, який включає в себе викиди парникових газів, загальну енергоефективність системи та всі виробничі витрати, зокрема, створення батареї. Саме на цьому етапі часто виникають міфи, пов'язані з високим первинним вуглецевим слідом електромобіля через енергомістке виробництво акумуляторної батареї.

Незважаючи на цей початковий «вуглецевий рюкзак», статистичні дані та дослідження підтверджують, що електромобілі значно виграють у довгостроковій перспективі. Беручи до уваги викиди «well-to-wheel», кожен електромобіль викидає в середньому близько 4450 фунтів (2020 кг) в еквіваленті CO₂ щороку. Для порівняння, звичайні бензинові автомобілі будуть викидати в два рази більше в рік. Ця подвійна перевага пояснюється тим, що, по-перше, електромобіль "оплачує" свій первинний вуглецевий слід виробництва в перші кілька років експлуатації, і, по-друге, централізована генерація електроенергії є значно ефективнішою та чистішою, ніж індивідуальне спалювання палива мільйонами ДВЗ-автомобілів. Крім того, EV стають чистішими щоразу, коли енергомережа країни переходить на відновлювані джерела, що є неможливим для транспорту на викопному паливі.

При оцінці загального вуглецевого сліду електромобілів (EV) за концепцією «well-to-wheel» (від свердловини/джерела до колеса) критично важливо розуміти, що кількість викидів в EV залежить від способу виробництва електроенергії в енергетичній мережі країни. Це означає, що екологічний вплив електромобіля переноситься з вихлопної труби на електростанцію, але цей вплив є контрольованим та мінімізованим.

Якщо електроенергія виробляється шляхом спалювання вугілля (що має найвищі викиди CO₂ та забруднюючих речовин), загальний екологічний вигаєш EV буде найменшим. Однак, навіть у такому випадку, централізована генерація енергії є технологічно чистішою завдяки можливості використання складних і ефективних систем фільтрації, які неможливо встановити на індивідуальні автомобілі.

Ситуація значно покращується, коли вироблення електроенергії відбувається з природного газу. Природний газ часто вважається «найчистішим» викопним паливом, тому що він виділяє на 50–60% менше вуглекислого газу, ніж вугілля, що робить його важливим перехідним елементом в енергетичній матриці. Використання EV в регіонах з газовою генерацією значно знижує їхній загальний вуглецевий слід порівняно з ДВЗ-автомобілями.

Максимальна екологічна перевага досягається, коли EV заряджаються від атомних станцій (які мають мінімальні викиди CO₂) або, що найбільш бажано, від відновлюваних джерел енергії (вітер, сонце, ГЕС). У міру того, як країна "озеленює" свою енергетичну матрицю, кожен EV автоматично стає чистішим без будь-яких модифікацій. Цей потенціал до постійного зниження викидів, на відміну від фіксованого вуглецевого сліду автомобіля на

викопному паливі, є головним аргументом на користь електромобілів у довгостроковій боротьбі зі зміною клімату.

Питання утилізації батарей є одним із ключових викликів, який цікавить не тільки екологів, але й самих виробників та інженерів. Поширеною критикою на адресу електромобілів є проблема утилізації великих літій-іонних акумуляторних блоків після закінчення терміну їхньої служби в автомобілі. Проте, ця проблема розглядається не як тупик, а як економічна можливість.

В акумуляторі міститься нікель, кобальт, мідь, літій та інші цінні метали, залежно від типу батарей. Отримання цих металів від переробки акумуляторів стає в рази дешевше і простіше, ніж їхній первинний видобуток, який є енергоємним і брудним процесом. Розвиток технологій гідрометалургійної та пірометалургійної переробки постійно підвищує ефективність відновлення цих критичних ресурсів, створюючи замкнений цикл виробництва.

Крім того, слід враховувати довговічність сучасних тягових акумуляторів. Наприклад, як свідчить досвід експлуатації, навіть після значного пробігу (як у випадку з Tesla Model X, де після 480 тисяч кілометрів пробігу батарея деградувала всього лише на 10%), акумулятор не стає відходом. Навіть після падіння ємності акумулятора більш ніж на 30% (коли він вже не є оптимальним для використання в автомобілі), його ще можна і потрібно використовувати у системах стаціонарного зберігання енергії, подібним до Tesla Powerwall та Powerpac. У цих стаціонарних системах вимоги до щільності енергії не такі суворі, як в транспорті, що дозволяє батареям ефективно працювати ще 7–10 років, балансуючи енергетичну мережу та накопичуючи енергію з відновлюваних джерел.

Таким чином, термін життя акумулятора значно подовжується, а пряма необхідність в утилізації відкладається, роблячи загальний екологічний слід ще меншим.

Відпрацьовані акумулятори – це дійсно велика проблема, що стоїть перед індустрією електромобілів, але рішення цієї проблеми вже знайдено та активно впроваджується. Одним із найбільш ефективних методів утилізації на даний момент є технологія, розроблена німецькою компанією Duesenfeld.

Суть цієї технології полягає у механіко-хімічному процесі, який дозволяє мінімізувати втрати цінних ресурсів та уникнути шкідливого для навколишнього середовища високотемпературного спалювання.

На початку процесу акумуляторну батарею ретельно розбирають на окремі модулі та комірки, після чого їх сортують за типом елементів. Далі, на відміну від традиційних методів, де компоненти акумуляторів спалюють, технологія Duesenfeld застосовує інший підхід: матеріали подрібнюють під тиском у спеціальних установках, використовуючи інертний газоподібний азот. Цей азот заповнює робочий простір і запобігає будь-яким подальшим неконтрольованим реакціям у батареї (наприклад, займанням чи вибуху), гарантуючи безпеку та чистоту процесу. По факту, після механічної обробки та розділення залишаються тільки чорні та кольорові метали (сталь, мідь, алюміній), які легко відновити, а також чорна маса – порошок, що містить літій та залишки катода з критично важливими металами: нікелем, марганцем і кобальтом.

Таким чином, більша частина батареї (до 90–95% компонентів) може бути збережена для подальшого використання та відновлення через подальшу, більш чисту гідрометалургійну обробку, що перетворює утилізацію на економічно вигідне та сталє джерело вторинної сировини.

З негативних моментів у життєвому циклі електромобіля дійсно можна відзначити те, що виробництво електромобіля є більш енерговитратним, ніж виробництво автомобіля на ДВЗ. Це пояснюється головним чином необхідністю виготовлення величезних акумуляторних батарей, що вимагають відповідних виробничих ресурсів та енергії, створюючи той самий "вуглецевий рюкзак" на початковому етапі. Однак, також слід зазначити, що технологія не стоїть на місці: енергоємність акумуляторів постійно зростає (що дозволяє досягати більшого пробігу при меншій вазі батареї), і виробничі потужності, в перерахунку на один автомобіль, завдяки ефекту масштабу та інноваціям, скорочуються.

Знову ж таки, не варто забувати про екологічність самого виробництва. Прикладом є компанія Tesla: на даний момент їхня Гігафабрика частково живиться від сонячної енергії, і є стратегічний план, що коли вона буде повністю розбудована, 100% необхідної енергії буде отримуватися від відновлювальних джерел. Це є критично важливим, оскільки це безпосередньо «знебарвлює» вуглецевий слід, створений на етапі виробництва. Все це вселяє впевненість, що ми рухаємося в напрямку екологічного сталого виробництва та споживання.

Таким чином гібридні та електричні автомобілі мають суттєву перевагу в порівнянні з іншими, особливо щодо зниження локальних та загальних викидів CO₂. Звичайно, не все так ідеально, як хотілося б; проблеми, такі як початкова висока вартість та залежність від інфраструктури заряджання, все ще існують. Але, давайте не забувати, що наука не стоїть на місці. Постійні інновації в галузі акумуляторів, переробки та відновлюваної енергетики свідчать про те, що багато з поточних недоліків будуть мінімізовані або усунені. І можливо, що саме ми, як споживачі та рушії попиту на чисті технології, будемо двигуном наукового прогресу у майбутньому.

ДО6 Загальна будова та класифікація гібридних систем

Гібридна силова установка – це технічна система, у якій поєднуються двигун внутрішнього згоряння та електрична складова. До її складу входять ДВЗ або двигун-генератор, тягові акумулятори електричної енергії та електромеханічна трансмісія. Залежно від способу взаємодії цих елементів розрізняють послідовну, паралельну та послідовно-паралельну (спліт) архітектуру гібридної установки. Генератор, акумулятор, перетворювач напруги та інвертор утворюють контур рекуперації, який забезпечує накопичення та повторне використання електричної енергії.

Транспортні засоби з гібридною силовою установкою займають проміжне положення між традиційними автомобілями, що рухаються за рахунок теплового двигуна, і електромобілями, які приводяться в рух виключно електродвигуном. У гібридному автомобілі обидва джерела енергії доповнюють одне одного, що підвищує загальну ефективність роботи силової установки.

Головною перевагою гібридної силової установки є можливість роботи двигуна внутрішнього згоряння в найбільш вигідному режимі, тобто в зоні з мінімальною питомою витратою палива. У звичайному автомобілі це практично недосяжно, оскільки режим роботи ДВЗ постійно змінюється залежно від швидкості руху, обраної передачі, навантаження та стилю керування водія. У результаті двигун працює в різних зонах своєї характеристики, де витрата палива може суттєво відрізнятись.

У гібридному транспортному засобі електрична складова компенсує ці коливання, дозволяючи ДВЗ частіше працювати в оптимальній області. Для більшості двигунів внутрішнього згоряння така область відповідає режиму максимального крутного моменту при частоті обертання близько 3000 об/хв, де питома витрата палива є мінімальною. Саме це забезпечує підвищену економічність гібридних автомобілів порівняно з традиційними.

Двигун внутрішнього згоряння в гібридному автомобілі є основним джерелом механічної енергії. За своєю конструкцією він майже не відрізняється від двигуна, що встановлюється на звичайних бензинових автомобілях, однак, як правило, має менший робочий об'єм. Це пов'язано з тим, що частину навантаження бере на себе електродвигун.

Наприклад, у автомобілі Toyota Prius використовується двигун 2ZR-FXE, який працює за циклом Аткинсона–Міллера. Для цього циклу характерний підвищений ступінь розширення, коли такт розширення довший за такт стиснення. Такий режим роботи сприяє зниженню витрати палива та підвищенню паливної економічності. Крім того, двигун оснащений системою регулювання фаз газорозподілу, що дозволяє оптимізувати його роботу залежно від режиму руху.

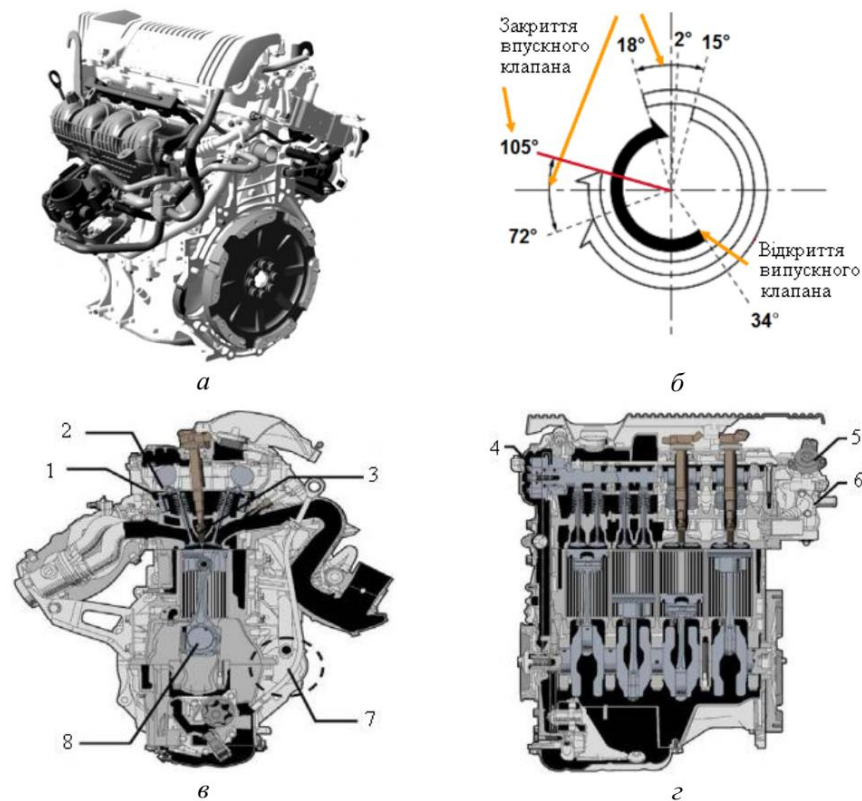


Рисунок 13 – Двигун 2ZR-FXE: *а* – загальний вигляд; *б* – фази газорозподілу; *в* – поперечний розріз; *г* – подовжній розріз; 1 – гідравлічний компенсатор клапанного зазору; 2 – коромисло з підшипником; 3 – свічка запалювання збільшеної довжини з іридієвим електродом; 4 – система VVT-і для впускних клапанів; 5 – охолоджувач системи EGR; 6 – електромагнітний клапан системи EGR; 7 – електричний рідинний насос; 8 – зміщений колінчастий вал

Існують також гібридні автомобілі з дизельними двигунами, проте вони гірше пристосовані до частих запусків і зупинок, що є типовим для міського режиму руху. Тому в гібридних системах дизельні двигуни застосовуються рідше.

Максимальні значення потужності та крутного моменту двигуна зазвичай розраховують з урахуванням найбільших навантажень. До них належать інтенсивний розгін, рух автомобіля на підйом з повним завантаженням або рух з максимальною швидкістю. Водночас такі режими експлуатації трапляються нечасто і тривають відносно недовго, що зумовлює доцільність використання електричної складової для покриття пікових навантажень.

На сьогодні існує багато схем побудови гібридних транспортних засобів із мехатронними системами, які дозволяють суттєво зменшити витрату палива. Різні конструктивні рішення визначають спосіб взаємодії двигуна внутрішнього згоряння та електричної частини силової установки.

Гібридні автомобілі класифікують за кількома основними ознаками. За схемою побудови розрізняють паралельні гібриди, у яких ДВЗ та електродвигун можуть одночасно передавати потужність на колеса, гібриди типу «через дорогу», серійні гібриди, а також системи з розділенням потужності, які поєднують ознаки послідовної та паралельної схем.

За ступенем гібридизації виділяють мікрогібриди, що мають мінімальну електрифікацію, м'які гібриди, у яких електродвигун допомагає ДВЗ, повні гібриди, здатні рухатися лише на електротязі на короткі відстані, а також плагін-гібриди, акумулятори яких можуть заряджатися від зовнішнього джерела електроенергії.

Паралельна гібридна система поєднує двигун внутрішнього згоряння та електродвигун, які через муфти та/або диференціал безпосередньо з'єднані з ведучими колесами автомобіля. За такої схеми рух транспортного засобу може здійснюватися лише за

рахунок електродвигуна або спільно двома джерелами енергії – ДВЗ і електродвигуном. У цьому випадку обидва двигуни беруть участь у створенні тягового зусилля на колесах.

Паралельні гібриди є найбільш поширеним типом гібридних автомобілів, особливо з 2016 року. Залежно від співвідношення ролей двигунів, у таких системах може домінувати ДВЗ, а електродвигун використовується лише як допоміжний, або ж навпаки – електродвигун відіграє більш активну роль. Проте більшість сучасних паралельних гібридів не здатні тривалий час працювати виключно на електротязі чи лише за рахунок ДВЗ, тому їх часто відносять до м'яких гібридів.

Такі автомобілі активно використовують рекуперативне гальмування, під час якого електродвигун переходить у режим генератора та заряджає акумулятор. Крім того, двигун внутрішнього згоряння також може працювати як генератор для додаткової підзарядки батареї. Це робить паралельні гібриди особливо ефективними в міських умовах з частими зупинками та рушенням. Завдяки цьому вони зазвичай оснащуються акумуляторами меншої ємності, ніж інші типи гібридів. Прикладами автомобілів із паралельною гібридною архітектурою є моделі Honda Insight, Civic і Accord, а також Saturn VUE, Aura Greenline та Chevrolet Malibu.

Різновидом паралельного гібрида є система типу «через дорогу». У такій схемі традиційна трансмісія приводить в рух одну вісь автомобіля, тоді як електродвигун працює з іншою віссю. При цьому двигун внутрішнього згоряння та електродвигун не з'єднані між собою механічно в межах одного приводу, що фактично створює резервне джерело електричної енергії та спрощує систему керування електроживленням. За потреби така компоновка дозволяє реалізувати повний привід, наприклад, коли передні колеса приводяться трансмісією з ДВЗ, а задні – електродвигуном або електродвигунами. Подібні рішення застосовані в автомобілях Audi 100 Duo II, Subaru VIZIV, Peugeot 307 Hybrid HDi, а також у моделях групи PSA – Peugeot 3008, 508, 508 RXH і Citroën DS5 з системою HYbrid4. Аналогічну схему використовують Volvo V60, BMW 2 Series Active Tourer, BMW i8 та друге покоління Honda NSX.

Серійні гібриди часто називають електромобілями з розширеним запасом ходу. У таких транспортних засобах рух здійснюється виключно електродвигуном, а двигун внутрішнього згоряння виконує роль генератора для вироблення електроенергії. Серійні гібридні системи забезпечують плавний розгін, оскільки не потребують перемикання передач. Для накопичення енергії рекуперативного гальмування в них можуть застосовуватися акумулятори, суперконденсатори або маховики, що підвищує загальну ефективність за рахунок повторного використання енергії, яка в іншому випадку втрачалася б у вигляді тепла під час гальмування.

У серійному гібриді відсутній механічний зв'язок між двигуном внутрішнього згоряння і колесами. Це дозволяє ДВЗ працювати в стабільному та економічному режимі незалежно від швидкості руху автомобіля. У результаті його ефективність може досягати близько 37%, тоді як середній показник для традиційних двигунів становить приблизно 20%. За умов низьких або змінних швидкостей руху загальна ефективність транспортного засобу може зрости майже на 50% порівняно з класичним автомобілем.

Мікрогібридом називають транспортні засоби, у яких використовується система «старт-стоп», що автоматично вимикає двигун під час зупинок або роботи на холостому ходу. Такі автомобілі не вважаються повноцінними гібридами, оскільки вони не мають двох незалежних джерел енергії для руху, а лише оптимізують роботу двигуна внутрішнього згоряння.

М'які гібриди за своєю суттю є традиційними автомобілями, доповненими окремими елементами гібридної системи, однак з обмеженими можливостями електричної тяги. У них електричне джерело енергії виконує допоміжну функцію та підтримує роботу ДВЗ. Зазвичай це паралельні гібриди з системою старт-стоп, функцією рекуперативного гальмування та помірною електричною підтримкою під час розгону. Повністю рухатися лише на електротязі такі автомобілі, як правило, не можуть.

У м'яких гібридах електродвигун часто розміщується між двигуном внутрішнього згоряння та трансмісією і виконує функції стартера та генератора. Він забезпечує швидкий запуск ДВЗ після зупинки, допомагає під час розгону та дозволяє вимкати двигун під час гальмування або короткочасних зупинок. При цьому окремі елементи приводу можуть короткий час працювати від електроенергії навіть при вимкненому ДВЗ. Як і в інших гібридних системах, енергія, що вивільняється під час гальмування, частково повертається назад у систему.

М'які гібриди інколи називають силовими гібридами, оскільки основну потужність у них забезпечує двигун внутрішнього згоряння, а електродвигун лише підсилює крутний момент через механічне з'єднання з традиційною трансмісією.

Повний гібрид, який іноді називають сильним гібридом, – це автомобіль, здатний працювати як лише на двигуні внутрішнього згоряння, так і тільки на електротязі або на поєднанні обох джерел енергії. Такі транспортні засоби можуть певний час рухатися виключно за рахунок електродвигуна без участі ДВЗ. До повних гібридів належать, зокрема, Toyota Prius, Toyota Camry Hybrid, Ford Escape Hybrid, Ford Fusion Hybrid, Lincoln MKZ Hybrid, Ford C-Max Hybrid, Kia Optima Hybrid та інші подібні моделі.

Для повних гібридів характерна система розділення потоку потужності, яка забезпечує гнучку роботу трансмісії за рахунок перетворення механічної енергії на електричну і навпаки. Узгодження роботи двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна досягається за допомогою диференціального механізму, що з'єднує їх з первинним валом коробки передач. Це дозволяє оптимально розподіляти навантаження між силовими агрегатами залежно від умов руху.

Плагін-гібридний електромобіль поєднує риси повного гібрида та електромобіля. Його ключовими особливостями є можливість заряджання акумулятора від зовнішньої електричної мережі та здатність рухатися виключно на електроенергії від акумулятора. Такі автомобілі мають акумулятори більшої ємності та можуть використовувати як паралельну, так і серійну гібридну схему. Їх головною перевагою є можливість подолання значних відстаней без використання пального, тоді як двигун внутрішнього згоряння застосовується для збільшення запасу ходу під час тривалих поїздок.

ДО7 Послідовна схема гібридного автомобіля

Послідовна гібридна силова установка працює за схемою, де двигун внутрішнього згоряння передає енергію виключно генератору. Потужність ДВЗ при цьому має відповідати потужності генератора. Існує також варіант керованого гібриду з мотор-генератором, відомий як Direct Hybrid.

У класичній послідовній схемі ДВЗ не підключений безпосередньо до коліс і працює тільки на генератор у режимі мінімальної витрати палива. Енергія, вироблена генератором, може направлятися безпосередньо на тяговий електродвигун, у акумулятор для зберігання, або спочатку в акумулятор, а потім на тяговий двигун.

Тяговий електродвигун через трансмісію передає обертовий момент на колеса, забезпечуючи весь необхідний діапазон швидкостей і потужності для руху автомобіля. Під час уповільнення електродвигун може працювати як генератор, повертаючи енергію в систему через рекуперативне гальмування. Таким чином, послідовна архітектура дозволяє ефективно використовувати енергію ДВЗ та електродвигуна.

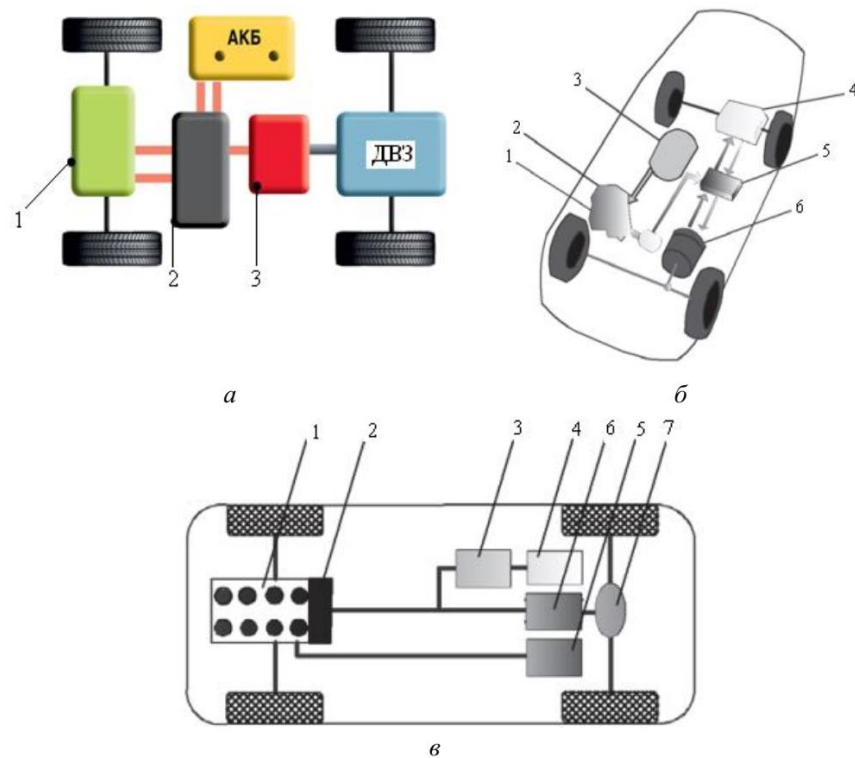


Рисунок 14 – Послідовна схема ГСУ: *а* – при поздовжньому розташуванні ДВЗ: 1 – електродвигун; 2 – модуль керування; 3 – генератор; *б* – з електроприводом на передню вісь: 1 – ДВЗ; 2 – генератор; 3 – паливний бак; 4 – акумуляторна батарея; 5 – інвертор; 6 – електродвигун; *в* – з електроприводом на задню вісь: 1 – ДВЗ; 2 – генератор; 3 – перетворювач; 4 – акумуляторна батарея; 5 – паливний бак; 6 – зворотна електромашина; 7 – диференціал

Такі гібриди зазвичай позначають абрєвіатурами REEV (range-extended electric vehicle) або EREV (extended-range electric vehicle). Основна перевага послідовної схеми полягає в роботі електромотора, який здатен видавати максимальний крутний момент на будь-яких обертах. Електромотор може бути розміщений безпосередньо в колесі, а його момент різко зростає при зменшенні оборотів, прагнучи до високих значень на низьких швидкостях, що забезпечує відмінну динаміку з місця.

До основних переваг послідовної схеми належать:

- можливість роботи ДВЗ у постійному режимі з мінімальною витратою палива;
- простота керування, відсутність складних вузлів трансмісії;
- виключення коробки передач, зчеплення та карданного валу, що знижує інерційні маси та загальну вагу силового обладнання, покращує динаміку та економію палива;
- середня потужність для сталого руху в 3–5 разів менша за потужність, необхідну для розгонів;
- гнучкі можливості компонування, що дозволяють легко розмістити установку у підкапотному просторі.

Головним недоліком є низький ККД перетворення енергії від ДВЗ до коліс через подвійне перетворення: спочатку механічної енергії в електричну, а потім електричної назад у механічну.

Приклади транспортних засобів з такою конструкцією: BMW i3 REx, спорткупе Cadillac ELR, Chevrolet Volt 2015 року, а також автобуси з гібридною силовою установкою, наприклад Toyota Coaster Hybrid.



Рисунок 15 – Конструкція Chevrolet Volt

Другим варіантом послідовної схеми гібридної силової установки є така, в якій у трансмісії передбачена коробка передач. На відміну від класичної послідовної схеми без механічного зв'язку між ДВЗ і колесами, ця конструкція дозволяє використовувати передачі для оптимізації роботи електродвигуна та двигуна внутрішнього згоряння, підвищуючи ефективність і гнучкість приводу автомобіля.

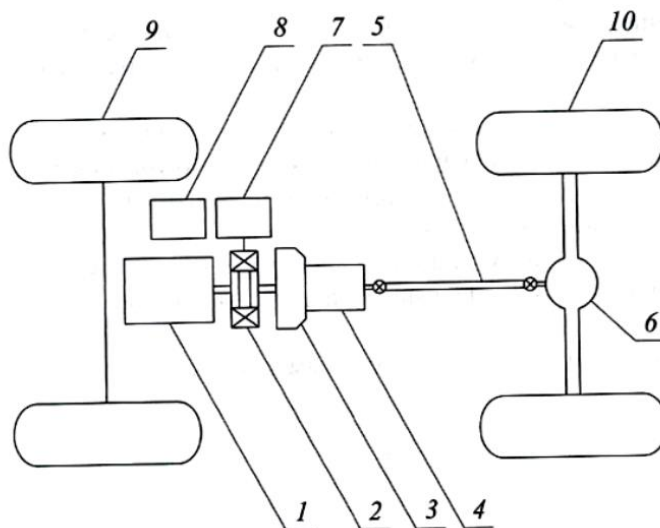


Рисунок 16 – Кінематична схема автомобіля з мотор-генератором (послідовна архітектура): 1 – ДВЗ; 2 – мотор-генератор (електромотор-генератор); 3 – зчеплення; 4 – коробка передач; 5 – карданна передача; 6 – головна передача і диференціал; 7 – акумулятор; 8 – інвертор; 9 – переднє колесо; 10 – колесо заднього моста

У цій схемі електродвигун виконує роль мотор-генератора, який з'єднаний із колінчастим валом ДВЗ. Він дозволяє автоматично вимикати двигун при короткочасних зупинках автомобіля і швидко запускати його за командою водія для початку руху. Саме за такою схемою побудована гібридна силова установка автомобіля Honda Insight.

ДО8 Паралельна схема гібридного автомобіля

Паралельна архітектура гібридної силової установки передбачає наявність двигуна внутрішнього згоряння та тягового електромотора, обидва з'єднані з ведучими колесами автомобіля. Електромотор живиться від акумуляторної батареї і використовується під час старту, руху при малих навантаженнях та прискорення, що дозволяє зменшити витрату палива та підвищити динаміку автомобіля.

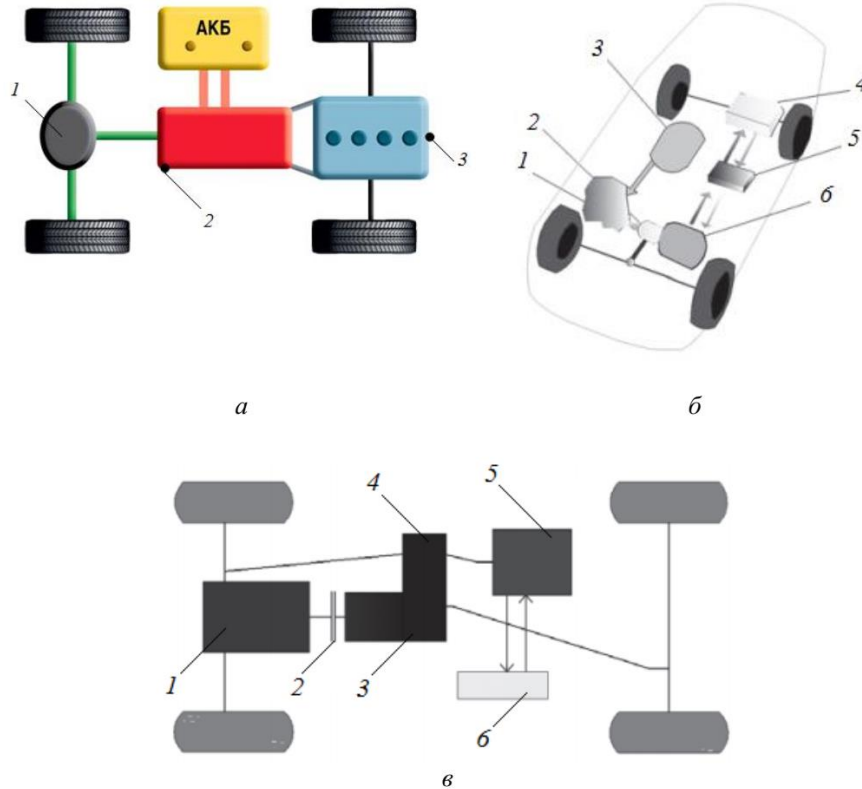


Рисунок 17 – Паралельна архітектура ГСУ: *а* – загальний вид: 1 – головна передача і диференціал; 2 – електромотор-генератор; 3 – ДВЗ; *б* – з приводом на передній міст: 1 – ДВЗ; 2 – коробка передач; 3 – паливний бак; 4 – акумуляторна батарея; 5 – інвертор; 6 – генератор-електродвигун; *в* – схема автомобіля УАЗ-3153: 1 – ДВЗ; 2 – зчеплення; 3 – коробка передач; 4 – роздавальна коробка; 5 – мотор-генератор; 6 – накопичувач

У паралельній схемі гібридної силової установки (м'який гібрид) двигун внутрішнього згоряння, як і в традиційному автомобілі, з'єднаний із валом механічної трансмісії, а мотор-генератор розташований між ними і виконує функцію маховика. Електричний привід включає мотор-генератор, інвертор і високовольтну батарею, що забезпечує підтримку ДВЗ, старт-стоп та рекуперацію енергії при гальмуванні.

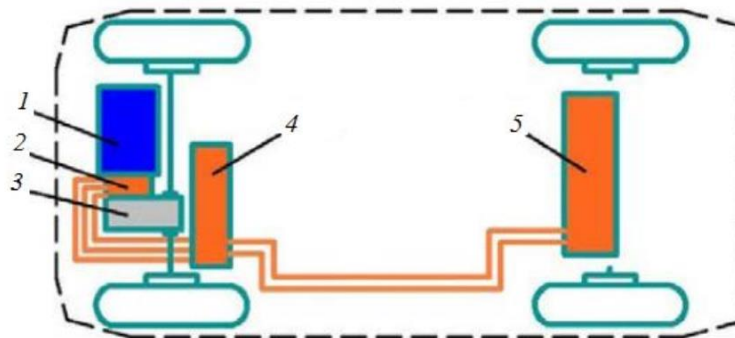


Рисунок 18 – Схема гібридної силової установки паралельного типу (архітектури): 1 – ДВЗ; 2 – мотор-генератор; 3 – приводний вал трансмісії; 4 – інвертор; 5 – високовольтна батарея

На шосе автомобіль з м'яким гібридом рухається переважно за рахунок двигуна внутрішнього згоряння, який одночасно через мотор-генератор заряджає високовольтну батарею. Під час розгону або при необхідності більшої потужності ДВЗ і електродвигун працюють паралельно, а їхні потужності сумуються. При гальмуванні мотор-генератор переходить у режим генератора і повертає енергію в акумулятор. Така схема дозволяє використовувати двигун меншої потужності та знижує витрату палива.

У цій системі двигун внутрішнього згоряння працює постійно під час руху автомобіля і вимикається лише при зупинках, тобто механічний потік енергії присутній завжди. Рух виключно на електротязі неможливий. Завдяки прямому передаванню обертового моменту від первинного вала на колеса, ККД такого гібрида вищий порівняно з іншими схемами. Система може містити один або два електромотори, які здатні працювати як у режимі генератора, так і тягового двигуна.

Недоліком цієї схеми є складність трансмісії, оскільки крутний момент треба передавати на колеса одночасно від ДВЗ і електродвигуна. Крім того, використання ступеневої механічної коробки передач змушує ДВЗ працювати поза оптимальним режимом мінімальної витрати палива під час регулювання швидкості. Прикладами автомобілів з такою конструкцією силових агрегатів є Honda Civic, CR-Z, Hyundai Sonata, Porsche Cayenne, Cadillac Escalade, Mercedes-Benz S-400 Hybrid, BMW 7-Series Limousine Active Hybrid та інші.

Виділяють такі типи паралельних гібридних систем:

- Мікрогібрид – оснащений системою старт-стоп, яка автоматично вимикає двигун під час зупинок;
- Середній гібрид – має можливість рекуперації енергії гальмування та надає додаткову підтримку двигуну під час прискорення;
- Повний гібрид – здатний рухатися на повній електричній тязі або в комбінованому режимі, забезпечуючи максимальну ефективність і економію палива.

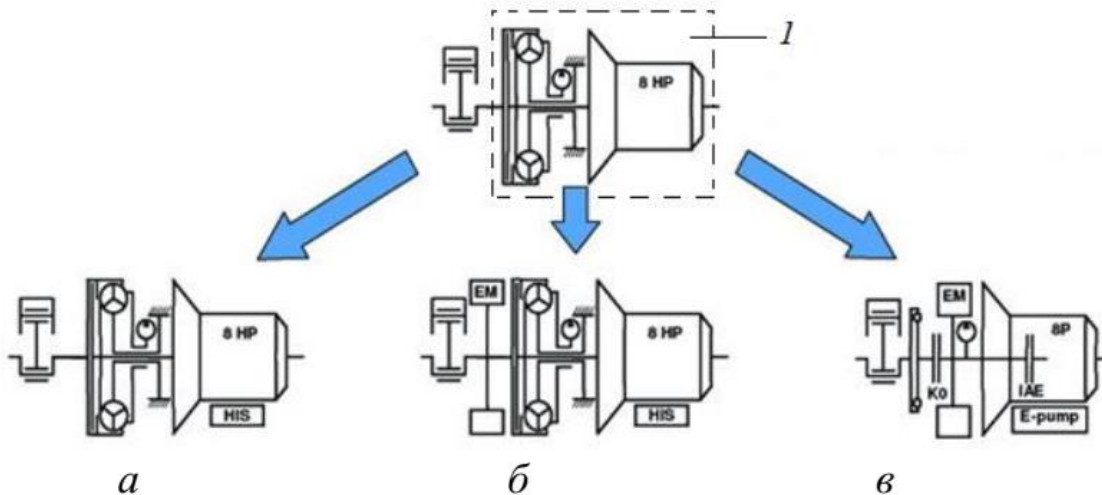


Рисунок 19 – Типи паралельних гібридних трансмісій: *a* – мікрогібрид; *б* – середній гібрид; *в* – повний гібрид; *1* – штатна 8-ми ступенева коробка передач з гідротрансформатором

Мікрогібрид забезпечує лише функцію старт-стоп, що дозволяє вимикати двигун під час коротких зупинок, наприклад на світлофорі, щоб він не працював даремно на холостому ходу. Запуск двигуна виконує потужний стартер, який часто поєднаний з генератором. Стандартна коробка передач залишається без змін, але доповнюється невеликим пристроєм HIS (Hydraulic Impulse Oil Storage) – імпульсним масляним насосом, який швидко створює тиск трансмісійної оливи в каналах коробки під час пуску двигуна.

Середній гібрид більш складний і оснащений електродвигуном потужністю 30–60 кВт. Такий мотор допомагає ДВЗ розганяти автомобіль, особливо при малих обертах колінчастого вала, а при гальмуванні може накопичувати енергію в акумуляторі. Коробка

передач у цьому випадку залишається звичайною, без будь-яких змін або додаткових пристроїв.

Середні гібриди фактично є звичайними автомобілями, доповненими окремими гібридними елементами, але з обмеженими можливостями електротяги. Зазвичай це паралельні гібриди з функцією старт-стоп і помірною підтримкою двигуна або рекуперативним гальмуванням. Вони рідко можуть рухатися виключно на електротязі і не забезпечують повністю електричний режим руху.

У повного гібрида електромотор має ще більшу потужність – від 60 до 100 кВт для легкових автомобілів, а для вантажівок і автобусів він може досягати до 250 кВт. Це дозволяє забезпечувати рух транспортного засобу як на електротязі, так і в комбінованому режимі з ДВЗ.

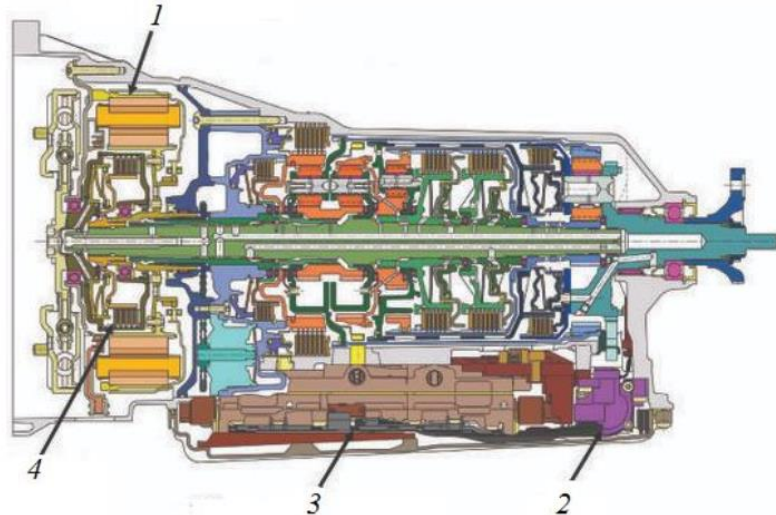


Рисунок 20 – Поперечний перетин коробки передач 8HP70, версія «повний гібрид»:
 1 – електромотор; 2 – електричний масляний насос (ІЕР);
 3 – блок керування гідравлікою; 4 – муфта

У такій гібридній системі в коробці передач відсутній гідротрансформатор – його функції виконує електромотор, який одночасно може працювати як генератор для підзарядки акумулятора. Передбачений режим рекуперації енергії при гальмуванні. Для руху на електротязі з вимкненим ДВЗ застосовується спеціальна фрикційна муфта, яка від’єднує двигун від коробки передач. Замість імпульсного масляного насоса використовується електричний насос ІЕР (Integrated Electric Oil Pump), необхідний для забезпечення нормальної роботи автоматичної трансмісії при непрацюючому ДВЗ. Для повноцінної роботи такого гібрида потрібна акумуляторна батарея великої ємності – 400–600 А·год або більше.

ДО9 Послідовно-паралельна схема гібридного автомобіля

Послідовно-паралельна або комбінована схема гібридної силової установки поєднує риси обох попередніх схем. У цій конструкції двигун внутрішнього згоряння та мотор-генератор взаємодіють із планетарною передачею – пристроєм розподілу потужності (PSD). Він об’єднує два мотор-генератори (MG1 і MG2), інвертори (In1 і In2) для їх керування та тягову високовольтну батарею (HVB). Така архітектура відома як система «Спліт».

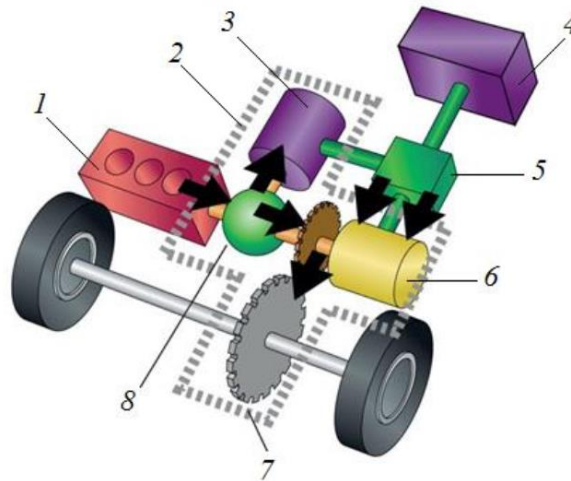


Рисунок 21 – Загальна послідовно-паралельна архітектура ГСУ: 1 – ДВЗ; 2 – силовий електродвигун; 3 – генератор; 4 – АКБ; 5 – перетворювач; 6 – керуючий електродвигун; 7 – трансмісія; 8 – планетарний редуктор

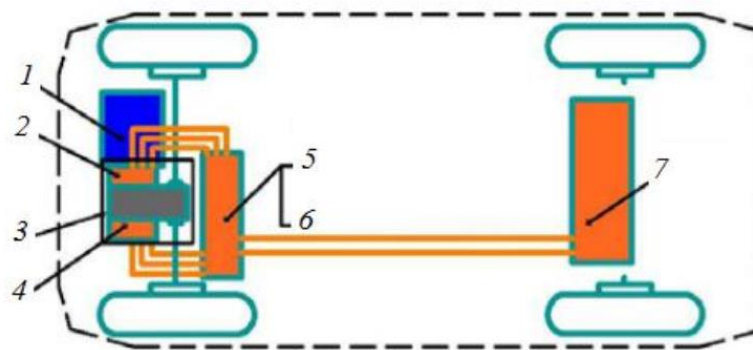


Рисунок 22 – Схема ГСУ змішаного типу: 1 – ДВЗ; 2, 4 – мотор-генератор (МГ1, МГ2); 3 – пристрій розподілу потужності (PSD); 5, 6 – інвертори (Ін1, Ін2); 7 – високовольтна батарея

У комбінованій схемі отримані переваги обох систем: одночасно використовується двигун внутрішнього згоряння та електромотор. Автомобіль може рухатися виключно на електротязі на короткі дистанції (до 1,5–2,0 км), тільки на ДВЗ або в комбінованому режимі, коли рушійна енергія коліс формується одночасно від обох джерел.

До переваг системи «Спліт» належать:

- високий ККД при передачі енергії від первинного двигуна до ведучих коліс;
- можливість роботи ДВЗ у постійному режимі з мінімальною витратою палива.

Недоліки системи:

- ускладнення механічної частини трансмісії через наявність додаткової планетарної передачі;
- складність управління автомобілем.

Система здатна працювати як послідовна при малих швидкостях і як паралельна при різких прискореннях. Пристрій розподілу потужності відповідає за координацію роботи та зміну схеми з'єднання основних елементів гібридної силової установки.

У силовій установці Toyota Hybrid System використовується планетарний дільник силового потоку, який отримує крутний момент від двигуна внутрішнього згоряння і гнучко розподіляє його: частину енергії передає на генератор, а іншу – безпосередньо на колеса автомобіля. Вироблена електроенергія може одночасно живити тяговий електродвигун або підзаряджати акумуляторні батареї. Така конструкція застосована у багатьох моделях Toyota, зокрема Prius, Yaris Hybrid, Auris Hybrid, Camry Hybrid, Avalon Hybrid, а також у моделях Lexus – CT 200h, IS 300h, GS 300h і GS 450h.

Гібридна силова установка автомобіля Toyota Prius, відома як Hybrid Synergy Drive, працює за такими складовими:

- 1,5-літровий двигун внутрішнього згоряння потужністю 43 кВт при 4000 об/хв (зовнішня кутова характеристика наведена на рисунку 2.25);
- генератор змінного струму, вбудований у маховик ДВЗ;
- тяговий електродвигун – синхронний мотор-генератор змінного струму потужністю 30 кВт;
- акумуляторна батарея Ni-MH з 40 елементів ємністю 200 А·год, розроблена компанією Panasonic.

Ця конструкція дозволяє гнучко поєднувати роботу ДВЗ та електромотора, забезпечуючи рух на електротязі, на ДВЗ або в комбінованому режимі.

Двигун внутрішнього згоряння автомобіля Toyota Prius працює за циклом Аткинсона зі ступенем стискання $\epsilon = 13$, що більш економічно ефективно порівняно з класичним циклом Отто. Основним недоліком циклу Аткинсона є нестійка робота на низьких обертах, але в Prius цього недоліку немає завдяки планетарному механізму, який дозволяє двигуну працювати у максимальному ефективному режимі незалежно від швидкості руху.

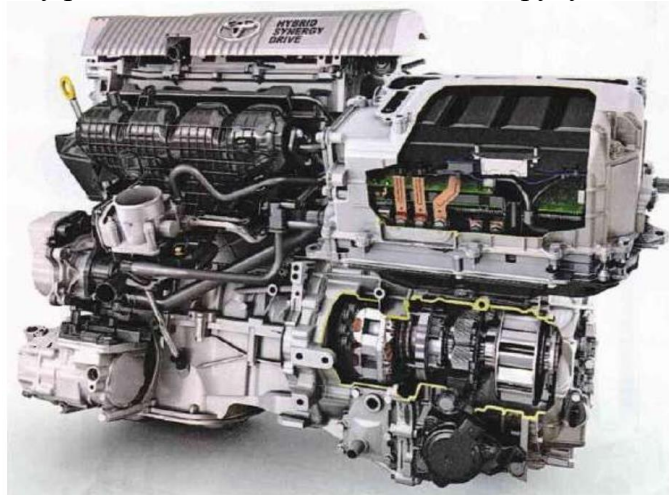


Рисунок 23 – Силовий агрегат Toyota Prius

Для гібридної силової установки Toyota Prius передбачено п'ять режимів роботи:

- Режим 1 – початок руху: рушання з місця і рух до 16 км/год здійснюється лише за рахунок електродвигуна, який живиться від акумулятора.
- Режим 2 – нормальний рух: планетарний механізм розподіляє потужність: одна частина йде на ведучі колеса через редуктор, інша – на генератор, який виробляє енергію для електромотора; акумулятор при цьому не використовується.
- Режим 3 – інтенсивний розгін: діє такий же алгоритм, як у режимі 2, але додатково включається акумулятор, що забезпечує електромотор додатковою енергією.
- Режим 4 – сповільнення: кінетична енергія автомобіля перетворюється електричною машиною в електричну енергію, яка через перетворювач рекуперується в акумулятор.
- Режим 5 – зарядка акумулятора: високовольтний акумулятор підзаряджається від ДВЗ і генератора.

Ця схема дозволяє оптимально використовувати як ДВЗ, так і електродвигун, підвищуючи ефективність і економічність автомобіля.

ДО10 Особливості конструкції транспортного засобу з мотор-генератором

Особливості конструкції транспортного засобу з мотор-генератором включають кілька ключових елементів:

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ): зазвичай застосовують стандартний дизельний або бензиновий двигун не нижче рівня Euro-4 з електронним керуванням подачею палива.

Коробка передач: використовують автоматизовану або механічну з автоматичним перемиканням передач (наприклад, Volvo I-Shift, Mitsubishi-Iomat, MAN і IVECO DAF – AS-Tronic).

Електродвигун: змінного струму, асинхронний або з постійними магнітами, потужністю від 35 кВт і крутним моментом близько 200–250 Нм і більше, зазвичай із рідинним охолодженням.

Акумуляторна батарея: літій-іонна або нікель-гідридна, робоча напруга 350–400 В і більше, вага від 90 до 400 кг.

Перетворювач струму (інвертор): перетворює постійний або змінний струм від генератора або мотора в постійний для батареї і навпаки.

Інтегрування мотор-генератора:

- на первинний вал коробки передач: зростає навантаження на зчеплення і двигун. Наприклад, при гальмуванні з 60 км/год ДВЗ вимикається, але первинний вал продовжує обертатися, тому зчеплення потрібно відключити. При повторному натисканні педалі акселератора зчеплення включається, і ДВЗ необхідно швидко розкрутити до відповідних обертів.

- на вторинний вал коробки передач: механічна коробка отримує потужність і крутний момент від ДВЗ і електромотора з різною величиною і характером зміни. Коробка повинна варіювати потоки потужності від 0 до 100% для кожного джерела. Механічні частини (пари шестерень) мають фіксоване передавальне відношення, що може призводити до втрат і перевантажень, які згладжуються алгоритмом електронного управління.

Ці особливості забезпечують ефективну роботу гібридної силової установки та дозволяють оптимально використовувати обидва джерела енергії – ДВЗ і електромотор.

Мотор-генератори гібридних силових установок у діапазоні потужностей 20–70 кВт найчастіше представлені такими типами:

- асинхронний електропривід;
- синхронний електропривід на основі постійних магнітів;
- вентильно-індукторний привід (експериментальні розробки).

Синхронні двигуни на постійних магнітах мають високий коефіцієнт корисної дії – до 92%, що значно перевищує показники інших електричних машин. У звичайному синхронному двигуні зменшення потужності відбувається шляхом обмеження напруги живлення та ослаблення магнітного поля. У синхронних двигунах з постійними магнітами поле регулювати практично неможливо, тому перетворювач електроенергії доводиться завищувати у 3–10 разів. Для легкових автомобілів (категорія М1) це допустимо, але для важких транспортних засобів (категорії М2 та N2) призводить до значного подорожчання системи.

Серед недоліків таких мотор-генераторів – поступове розмагнічування ротора, особливо при високих температурах, що вимагає ефективного охолодження.

У сучасних моделях мотор-генераторів, що використовуються в гібридних силових установках, спостерігаються такі відмінні риси:

- зменшена вага: загальна маса мотор-генератора зменшена приблизно на 33% завдяки застосуванню зосереджених обмоток.
- збільшена потужність: максимальна потужність МГ2 у режимі електродвигуна зросла з 50 до 60 кВт за рахунок підвищення швидкості обертання ротора.

Ці зміни дозволяють підвищити ефективність роботи гібридної силової установки та покращити динамічні характеристики транспортного засобу.

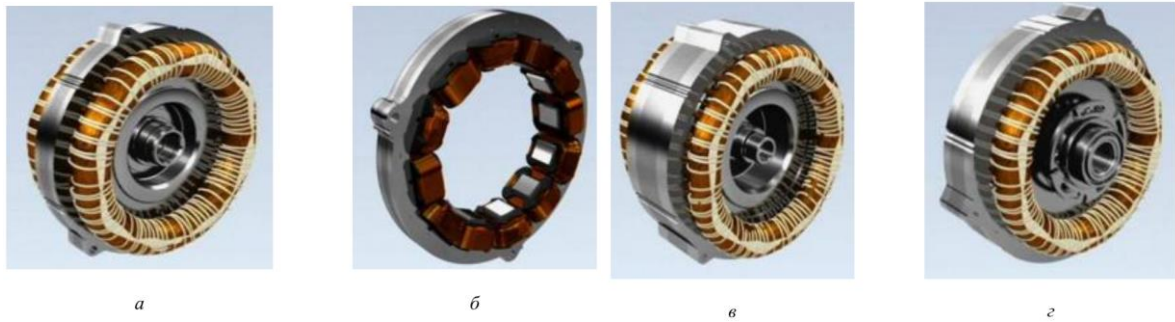


Рисунок 24 – Мотор-генератори різних моделей: *а* – МГ1 моделі MHW20; *б* – МГ1 моделі ZVW30; *в* – МГ2 моделі MHW20; *г* – МГ2 моделі ZVW30

Охолодження мотор-генераторів у гібридних автомобілях здійснюється спеціальною оливою, яка постійно омиває обмотки. Через спеціальний масляний контур олива циркулює, одночасно охолоджуючи мотор-генератор і змащуючи деталі трансмісії.

Тяговий електродвигун і мотор-генератор живляться від силового перетворювача (інвертора), вихідну частоту якого можна регулювати у діапазоні до 500 Гц і більше. Це суттєва відмінність від асинхронних двигунів, що працюють від мережі з частотою 50 Гц, і дозволяє значно знизити масу тягових двигунів практично без втрати ККД.

Оптимізація електродвигунів для транспортного використання включає не лише підвищення ефективності самого двигуна, а й продумане охолодження, конструкцію, вибір режимів роботи у всіх областях частот обертання та навантажень.

Акумуляторні батареї гібридних силових установок пройшли значний розвиток з початку 2000-х років. Спочатку застосовувалися літій-іонні акумулятори, а потім літєво-полімерні (Li-Ion) з твердим електролітом. Сучасні розробки продовжують удосконалювати ці батареї, підвищуючи їх енергоємність та надійність.

Для порівняння, питома енергоємність літій-іонних батарей може перевищувати енергоємність свинцевих у 15 разів. Через високу активність чистого літію його не використовують; замість цього застосовують безпечні сполуки літію, що знижує енергоємність, але вона все одно втричі перевищує свинцеві акумулятори. Li-Ion батареї мають саморозряд 5–10%, а ресурс роботи залежить від розрядної потужності.

У сучасному автомобілебудуванні широко використовуються нікель-металгідридні (Ni-MH) акумулятори, які поступаються літєвим за енергоємністю та масогабаритами, але залишаються надійними та безпечними.

Наприклад, на гібридних автомобілях Lexus встановлена батарея з такими особливостями:

- високовольтна герметична Ni-MH;
- велика щільність енергії при невеликій масі;
- ресурс співставний з ресурсом гібридного силового агрегату;
- складається з 240 елементів (40 блоків по 6 елементів, з'єднаних послідовно);
- номінальна напруга $U = 288$ В.

Батарея розташована в багажному відділенні за задніми сидіннями і є джерелом високовольтного постійного струму, тому при її обслуговуванні слід дотримуватися особливої обережності.

Високовольтна акумуляторна батарея (HVB) складається з кількох основних компонентів:

- елементи батареї – окремі літій-іонні або нікель-металгідридні осередки, що забезпечують накопичення і віддачу енергії;
- блоки елементів – групи осередків, з'єднаних послідовно або паралельно для досягнення необхідної напруги та ємності;
- шини та електричні з'єднання – проводи та контакти, що забезпечують передачу струму між елементами та блоками;

- контролер батареї (BMS – Battery Management System) – система управління, яка слідкує за станом кожного елемента, балансуванням напруги, температурою та безпекою;
- система охолодження – охолоджуючий контур або повітряні канали, що підтримують оптимальну температуру елементів під час роботи;
- зовнішній корпус – міцний і герметичний корпус, який захищає батарею від механічних пошкоджень, вологи та пилу.

Разом ці компоненти забезпечують надійну, безпечну та ефективну роботу високовольтної акумуляторної батареї у гібридній силовій установці.

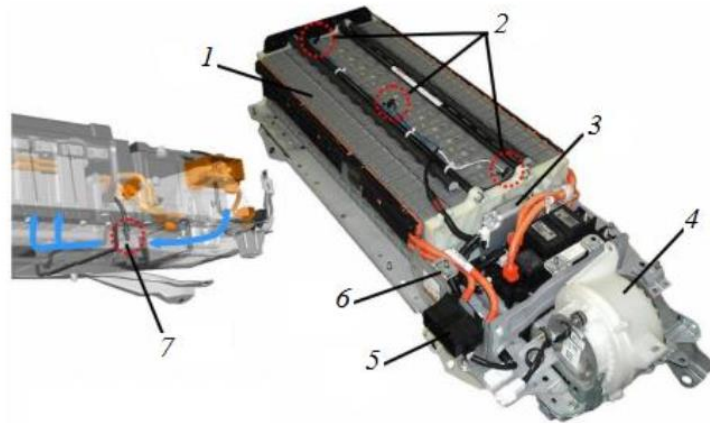


Рисунок 25 – Основні елементи високовольтної батареї (HVB): 1 – модулі високовольтної батареї; 2 – датчики температури модулів батареї; 3 – блок управління батареєю; 4 – вентилятор охолодження батареї; 5 – роз'єм сервісної вилки; 6 – блок реле батареї

Конструкція високовольтних Ni-MH акумуляторів включає кілька ключових елементів:

- позитивні та негативні електроди – розташовані поперемінно, що дозволяє ефективно накопичувати енергію;
- сепаратор – ізолює електроди один від одного, запобігаючи короткому замиканню;
- блок електродів – збірка електродів і сепараторів, вставлена в корпус;
- корпус – металевий або пластмасовий, герметично закритий для захисту елементів від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища;
- герметична кришка – закриває корпус, забезпечує захист та безпеку;
- датчик тиску – встановлений на кришці для контролю внутрішнього тиску та запобігання аварійним ситуаціям.

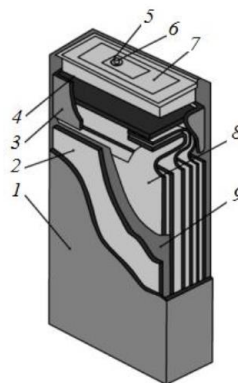


Рисунок 26 – Конструкція Ni-MH акумулятора: 1 – корпус; 2 – негативний електрод; 3 – ізолятор; 4 – ізоляційна прокладка; 5 – ковпачок клапана; 6 – датчик тиску; 7 – кришка; 8 – позитивний електрод; 9 – сепаратор

Ni-MH акумулятори мають лужний електроліт, що складається з калію гідроксиду з додаванням гідроксиду літію. Сепаратор виконаний із нетканих поліпропілену та поліаміду товщиною 0,12–0,25 мм, оброблених спеціальним просоченням. Позитивний електрод складається з оксидно-нікелевого пористого шару на пенополімерній основі, а негативний електрод представлений порошком або пастою активної маси з водень-абсорбуючими властивостями, нанесеною на струмопровідну сітку. Напруга розімкнутого ланцюга зарядженого акумулятора становить 1,35–1,50 В, а номінальна розрядна напруга при нормованому струмі 0,1–0,2 Сном при 25°C – 1,2–1,25 В. Крім цього, Ni-MH акумулятори характеризуються внутрішнім опором, струмом саморозряду та тривалим терміном служби. Така конструкція забезпечує високу щільність енергії, економію місця та ваги автомобіля, а також стабільну роботу у гібридних силових установках.

Інвертори в гібридних силових установках перетворюють постійний струм у змінний трифазний для керування швидкістю та крутним моментом мотор-генераторів. Основні регульовані параметри струму в трифазній обмотці включають частоту, шпаруватість і напругу. Шпаруватість відображає ступінь заповнення імпульсів напруги при широтно-імпульсній модуляції, що дозволяє плавно регулювати крутний момент. Інвертори розташовуються у транспортному засобі відповідно до схем електроприводу, а їхні характеристики та габарити залежать від моделі гібридної силової установки.

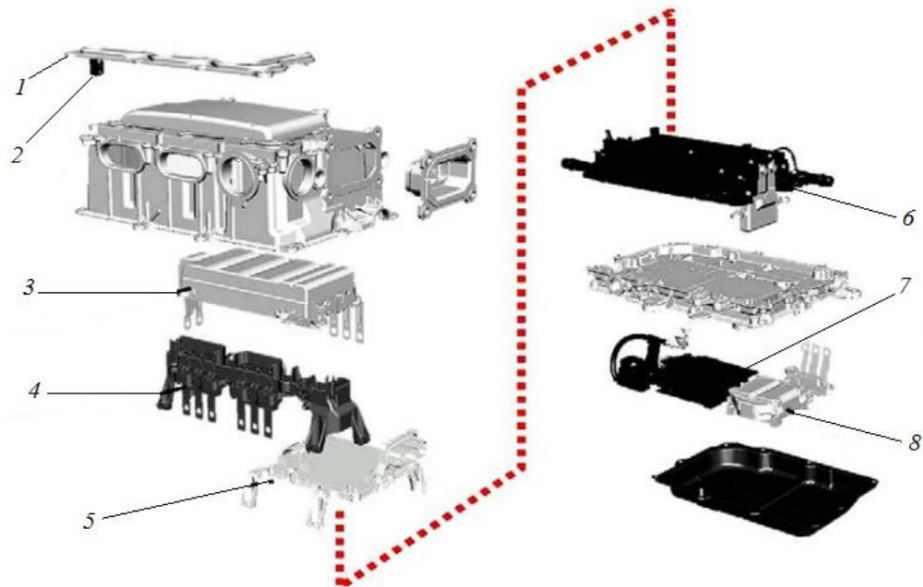


Рисунок 27 – Структура блоку інверторів: 1 – кришка інвертора; 2 – блокувальний вимикач; 3 – конденсатор; 4 – датчик струму інвертора; 5 – ЕБУ мотор-генераторів; 6 – інтелектуальні силові ключі; 7 – DC/DC-конвертер; 8 – реактор

Блок інвертора має багатшарову структуру, що дозволяє знизити вагу та зробити його компактнішим. Основні компоненти включають конденсатор, інтелектуальні силові модулі, реактор, електронний блок управління мотор-генераторами та DC/DC-конвертер. Інвертор функціонально взаємодіє з високовольною батареєю, трансмісією, компресором кондиціонера та допоміжною акумуляторною батареєю. Електрична взаємодія гібридної силової установки з інвертором і конвертером забезпечує керування потужністю та розподіл енергії між усіма компонентами системи.

ДО11 Основні компоненти електромобіля

Електромобіль отримує енергію від тягової акумуляторної батареї (АКБ), яка забезпечує живлення електродвигуна та запуск транспортного засобу. Тягову батарею відрізняють від бортової – саме вона є основним джерелом енергії для руху, визначає запас ходу та потужність електромобіля.

На відміну від автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння, електромобілю не потрібні ДВЗ та класична трансмісія, оскільки весь привід забезпечується електродвигуном. Це дозволяє спростити конструкцію силової установки та знизити кількість механічних компонентів.

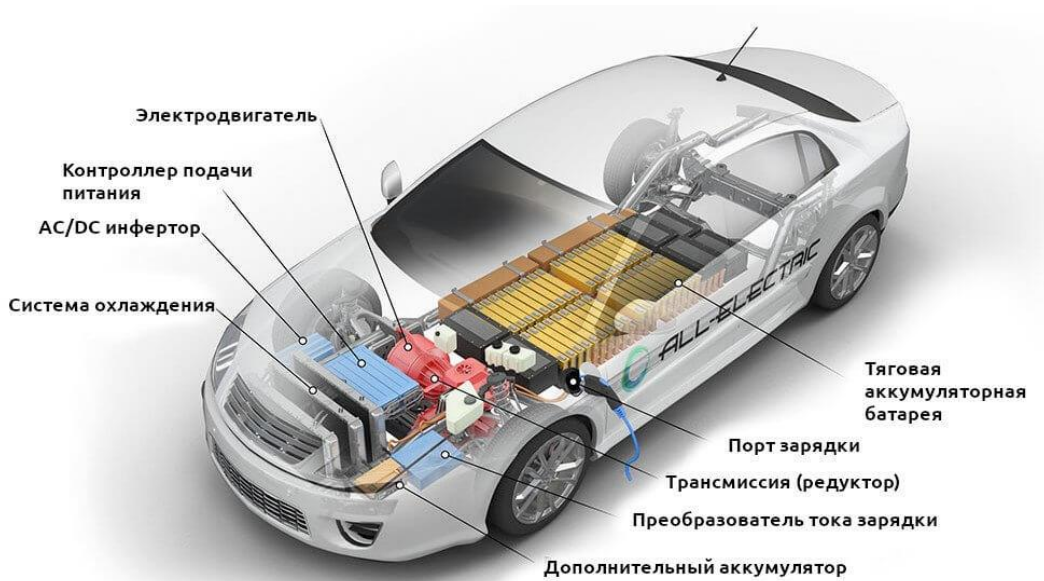


Рисунок 28 – Основні елементи електромобіля

Крім електродвигуна та тягової батареї, електромобіль містить ряд додаткових елементів: зарядний пристрій для підзарядки батареї від зовнішньої електромережі; інвертор для перетворення постійного струму батареї в змінний струм для електродвигуна; контролер, який регулює подачу електроенергії та крутний момент; а також інші допоміжні системи, що забезпечують безпечну та ефективну роботу транспортного засобу.

Всі ці компоненти разом формують комплекс електричної силової установки, який дозволяє ефективно перетворювати електроенергію на кінетичну, забезпечуючи рух автомобіля та контроль над його динамічними характеристиками.

Тягова батарея

Тягова батарея електромобіля виконує роль «паливного баку», зберігаючи електроенергію, необхідну для руху. Вона складається з великої кількості елементарних акумуляторів, які об'єднані в батарейний блок та керуються системою мікроконтролерів для забезпечення стабільної та безпечної роботи.



Рисунок 29 – Розміщення тягової батареї

Батареї електромобілів відрізняються ємністю (50, 60, 100 кВт·год і більше), робочою напругою (350–800 В) та хімією акумуляторів. Серед сучасних найбільш поширені літій-іонні та літій-залізо-фосфатні батареї. Раніше використовували свинцеві та нікель-

металогідридні елементи, які нині вважаються застарілими. У перспективі планується застосування твердотільних акумуляторів, що обіцяє підвищену енергоємність і безпечність.

Батарея є найдорожчим компонентом електромобіля і може становити третину або навіть половину вартості всього автомобіля. Основним недоліком є природна деградація – зменшення ємності з часом і пробігом. Швидкість деградації залежить від умов експлуатації, наприклад, часті зарядки на швидких станціях зменшують ресурс батареї. Середній термін служби тягової батареї сучасного електромобіля становить приблизно 250 000–300 000 км.

Електромотор

Електромотор є ключовим компонентом електромобіля, що перетворює електричну енергію на механічну для приводу коліс. Він складається з двох основних частин: нерухомого статора та рухомого ротора. Після подачі живлення на статор формується магнітне поле, яке взаємодіє з ротором і змушує його обертатися, створюючи механічну силу – тягу.

Електромотори поділяють на асинхронні та синхронні. Асинхронні моделі відрізняються меншою потужністю, але є економічними у виробництві, тоді як синхронні мотор-генератори дорожчі через використання дорогих матеріалів для магнітів, проте мають вищу ефективність.



Рисунок 30 – Електромотор

Сучасні електромотори стають дедалі компактнішими: наприклад, агрегат Volkswagen ID.3 настільки малий, що його можна розмістити у звичайній дорожній сумці. Для порівняння, Audi e-tron оснащується асинхронними двигунами, а Porsche Taycan – синхронними.



Рисунок 31 – Електромотор Volkswagen ID.3 настільки компактний, що поміщається у звичайну дорожню сумку

Редуктор

Мотори електромобілів мають особливість, яка суттєво відрізняє їх від ДВЗ: вони здатні видавати максимальний крутний момент практично одразу після подачі живлення. Це означає, що автомобіль може почати рух із місця без затримки та значних втрат енергії, а також швидко прискорюватися на низьких швидкостях. Крім того, електромотори можуть

обертатися до дуже високих швидкостей – у сучасних моделях цей показник досягає 18 000–18 500 об/хв.

Завдяки такій характеристиці електромобілям не потрібні складні багатоступеневі коробки передач, які необхідні в автомобілях із ДВЗ для оптимізації роботи двигуна на різних швидкостях. Натомість вони оснащуються простим і надійним знижувальним редуктором, який безпосередньо передає потужність від мотора до коліс. Найчастіше це одноступенева планетарна передача, яка зменшує оберти двигуна та збільшує крутний момент на колесах.



Рисунок 32 – Редуктор

Проте для деяких високопродуктивних електромобілів застосовують більш складні рішення. Наприклад, у Porsche Taycan встановлено дводіапазонний редуктор. На першому діапазоні редуктор забезпечує високу тягу при старті та низьких швидкостях, дозволяючи електромотору максимально ефективно використовувати крутний момент. На другому діапазоні – мотор обертається швидше, що забезпечує більшу максимальну швидкість автомобіля, не втрачаючи ефективності.

Таким чином, редуктор в електромобілі виконує функцію оптимального передавання потужності і крутного моменту від двигуна до коліс, дозволяючи забезпечити одночасно динамічний розгін, плавність руху та високу максимальну швидкість.

Інвертор

Інвертор у електромобілі виконує критично важливу роль у перетворенні енергії між батареєю та електромотором. Тягова батарея зберігає і віддає електроенергію лише у вигляді постійного струму (DC), тоді як електромотор працює на змінному струмі (AC). Завдання інвертора – перетворювати постійний струм із батареї у змінний, щоб електромотор міг виробляти механічну енергію для руху автомобіля.



Рисунок 33 – Інвертор

Крім цього, інвертор зазвичай виконує функцію перетворення змінного струму, який виникає при рекуперативному гальмуванні, назад у постійний струм для зарядки батареї. Таким чином, одна й та ж «коробочка» забезпечує двосторонній потік енергії: подає

електроенергію до мотора і одночасно приймає її від мотора під час гальмування. Тому такі інвертори називають двонаправленими.

В сучасних електромобілях інвертор також може регулювати частоту та амплітуду змінного струму, що дозволяє плавно змінювати швидкість обертання електромотора та величину крутного моменту. Це робить рух електромобіля більш ефективним і контрольованим, забезпечуючи економію енергії та комфорт водіння.

Контролер

Контролер, або контролер силової електроніки, виконує роль «мозку» електромобіля у сфері управління енергією. Він регулює потік електроенергії від акумуляторної батареї до електромотора та контролює величину потужності і крутного моменту, що виробляє двигун.



Рисунок 34 – Контролер силової електроніки

Саме завдяки контролеру електромобіль реагує на натискання педалі акселератора: чим сильніше водій натискає, тим більше енергії подається на мотор, і тим більшою стає тяга. Контролер також взаємодіє з інвертором і системою рекуперації енергії, забезпечуючи ефективне використання батареї та плавність руху автомобіля.

В сучасних системах контролери мають складні алгоритми, що дозволяють оптимізувати економію енергії, забезпечувати захист батареї та електромотора від перевантажень і перегріву, а також координувати роботу електричних і допоміжних систем автомобіля.

Допоміжний акумулятор

Допоміжний акумулятор в електромобілі виконує функцію джерела живлення для низьковольтних споживачів, аналогічно до автомобілів із бензиновими або дизельними двигунами. Це, як правило, 12-вольтова акумуляторна батарея, яка забезпечує роботу освітлювальних приладів, звукового сигналу, мультимедійної системи, блоків керування, датчиків, електроприводів допоміжних механізмів та інших бортових споживачів.

На відміну від автомобілів з ДВЗ, де 12-вольтова батарея заряджається від генератора, в електромобілі вона отримує енергію від тягової акумуляторної батареї через DC/DC-перетворювач. Така схема дозволяє підтримувати стабільну напругу в бортовій мережі незалежно від режиму руху автомобіля.



Рисунок 35 – Розміщення допоміжного акумулятора

Допоміжний акумулятор відіграє важливу роль у запуску та коректній роботі електронних систем електромобіля. Навіть при повністю зарядженій тяговій батареї розряд або несправність 12-вольтового акумулятора може призвести до неможливості увімкнення автомобіля та функціонування його електроніки.

Перетворювач постійного струму

Перетворювач постійного струму є обов'язковим елементом електричної силової системи електромобіля, який забезпечує узгодження роботи тягової та допоміжної акумуляторних батарей. Тягова батарея має високу робочу напругу (як правило, 350–800 В), тоді як бортова електрична мережа автомобіля розрахована на напругу 12 В. Без спеціального перетворювача безпосереднє підключення цих систем було б неможливим.



Рисунок 36 - Перетворювач постійного струму

DC/DC-перетворювач знижує напругу постійного струму, що надходить від тягової акумуляторної батареї, до стабільного рівня, необхідного для заряджання та живлення допоміжного акумулятора і низьковольтних споживачів. Він виконує аналогічну функцію до генератора в автомобілях з ДВЗ, проте працює виключно на електронних принципах і не має механічного приводу.

Під час руху або стоянки електромобіля перетворювач постійного струму підтримує заряд допоміжної батареї, забезпечуючи безперебійну роботу освітлення, систем керування, засобів безпеки та комфорту. Надійність цього пристрою є критично важливою, оскільки від його роботи залежить стабільність всієї низьковольтної електричної системи транспортного засобу.

Теплова система/система охолодження

На відміну від двигунів внутрішнього згорання, електродвигуни електромобілів не схильні до інтенсивного нагрівання і, як правило, не працюють у режимах, що призводять до перегріву. Водночас тягові акумуляторні батареї є значно більш чутливими до температурного режиму. Їх ефективна робота можлива лише в обмеженому діапазоні температур, а відхилення від оптимальних значень призводить до зниження ємності, потужності та прискореної деградації. Особливо значне теплове навантаження виникає під час процесу заряджання, зокрема при використанні швидкісних зарядних станцій постійного струму. Окрім батареї, терморегулювання потребує і силова електроніка, передусім інвертор, через який проходять великі струми та який зазнає суттєвих теплових навантажень у процесі перетворення електроенергії.

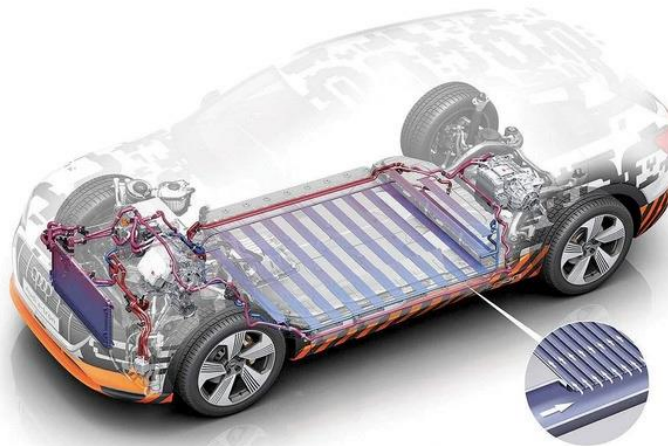


Рисунок 37 – Система охолодження електромобіля

З огляду на це електромобілі оснащуються спеціальною системою охолодження, що за своєю складністю в окремих випадках не поступається системам охолодження автомобілів з ДВЗ. У конструкції таких систем застосовується поєднання різних способів відведення тепла, зокрема примусове повітряне охолодження, рідинне охолодження та, в окремих вузлах, термоелектричні елементи. Наявність радіаторів, насосів, теплообмінників і трубопроводів у конструкції електромобіля є цілком закономірною і зумовлена необхідністю підтримання стабільного теплового режиму основних агрегатів.

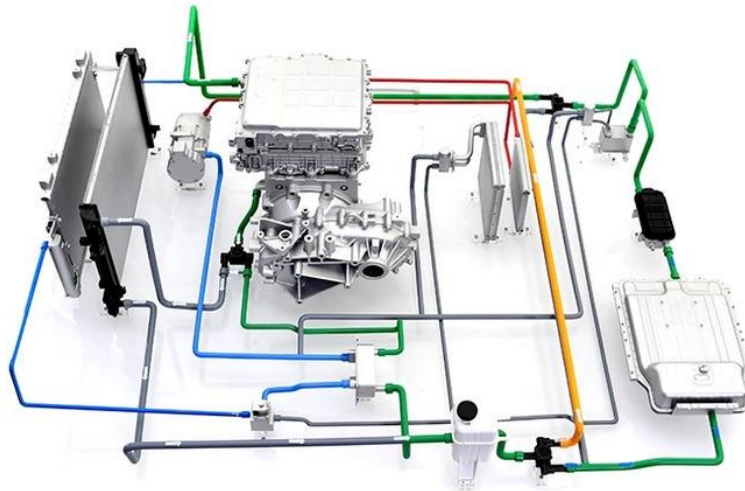


Рисунок 38 – Система охолодження електромобіля

Важливу роль у тепловому менеджменті електромобіля відіграє тепловий насос. Його призначення полягає в утилізації тепла, що виділяється під час роботи електродвигуна, інвертора та акумуляторної батареї, з подальшою передачею цього тепла в систему опалення салону. За відсутності теплового насоса обігрів салону здійснюється за рахунок електроенергії тягової батареї, що призводить до зменшення запасу ходу, особливо в холодну пору року. Використання теплового насоса дозволяє суттєво підвищити енергоефективність електромобіля в зимових умовах експлуатації. Разом з тим у багатьох моделях електромобілів тепловий насос не є базовим елементом комплектації і пропонується як додаткова опція, що зумовлює відмінності в енергоефективності та запасі ходу залежно від ринку збуту і версії транспортного засобу.

Зарядний порт та бортовий зарядний пристрій)

За своїм функціональним призначенням порт заряджання електромобіля є аналогом горловини паливного бака автомобіля з ДВЗ, оскільки саме через нього здійснюється підключення транспортного засобу до зовнішнього джерела енергії з метою поповнення запасу електроенергії в тяговій акумуляторній батареї. Водночас, на відміну від паливних систем, зарядні порти не мають єдиного універсального стандарту. У світовій практиці використовується декілька типів роз'ємів, що відповідають європейським, американським, японським і китайським стандартам. Це зумовлює конструктивні відмінності зарядних портів та обмежує сумісність електромобілів із зарядною інфраструктурою різних регіонів. У ряді моделей електромобілів передбачено встановлення двох або навіть трьох зарядних портів, що дає змогу використовувати різні джерела живлення – від побутової електромережі змінного струму до спеціалізованих високопотужних зарядних станцій постійного струму.

Бортовий зарядний пристрій є складнішим функціональним елементом електромобіля і виконує роль проміжної ланки між зовнішньою електромережею та тяговою акумуляторною батареєю. Його основним завданням є перетворення змінного струму, отриманого через зарядний порт, у постійний струм, необхідний для заряджання батареї. У випадку підключення електромобіля до зарядної станції постійного струму процес перетворення відбувається поза межами транспортного засобу, і електроенергія подається до батареї безпосередньо, минаючи бортовий зарядний пристрій.



Рисунок 39 - Бортовий зарядний пристрій

Окрім функції перетворення електроенергії, система заряджання виконує контроль і регулювання основних параметрів процесу заряджання, зокрема напруги, сили струму, температури акумуляторної батареї, а також швидкості та потужності заряду. Завдяки цьому забезпечується безпечна робота тягової батареї, запобігання її перегріву та передчасній деградації, а також оптимізація режимів заряджання залежно від типу джерела живлення і стану акумуляторної системи.

Батарея та електродвигун – це головні компоненти електромобіля. Водночас найдорожчим і найбільш ніжним компонентом є якраз батарея.

ДО12 Принцип роботи електродвигуна в електромобілі

Електродвигун електромобіля функціонує за рахунок перетворення електричної енергії, що надходить від тягової акумуляторної батареї, у механічну енергію руху. Даний процес ґрунтується на взаємодії магнітних полів та електричних струмів, що забезпечує високий рівень енергоефективності та мінімальні втрати під час роботи силової установки. На відміну від двигунів внутрішнього згоряння, електродвигун не потребує використання рідкого палива, не утворює шкідливих викидів у навколишнє середовище та характеризується значно меншою кількістю рухомих елементів, що позитивно впливає на його надійність, ресурс і вимоги до технічного обслуговування.

Характерною особливістю електродвигуна є здатність розвивати максимальний крутний момент практично з моменту початку руху, що забезпечує інтенсивний розгін електромобіля без затримок, пов'язаних із роботою багатоступеневих коробок передач. Завдяки цьому, а також високій енергоефективності, коефіцієнт корисної дії електродвигунів у тягових режимах може перевищувати 90 %, що суттєво перевершує показники двигунів внутрішнього згоряння, для яких ККД зазвичай не перевищує 35–40 %.

Конструктивно електродвигун складається з нерухомої частини – статора, у якому розміщені обмотки, що формують обертове магнітне поле, та рухомої частини – ротора, який обертається під дією цього поля. Взаємодія магнітних полів статора і ротора створює обертовий момент, який через редуктор передається на ведучі колеса автомобіля.

Принцип роботи електродвигуна базується на законі електромагнітної індукції. Під час подачі електричного струму на обмотки статора виникає обертове магнітне поле, яке індуктує електричні струми в роторі. Внаслідок взаємодії індуктованих струмів із магнітним полем статора виникає електромагнітна сила, що змушує ротор обертатися. Таким чином відбувається перетворення електричної енергії в механічну, яка безпосередньо використовується для руху електромобіля.

В електричних автомобілях застосовується кілька основних типів електродвигунів, вибір яких визначається вимогами до потужності, енергоефективності, вартості та конструктивних особливостей конкретної моделі транспортного засобу. Кожен тип має свої переваги й обмеження, що зумовлює доцільність його використання в тих чи інших умовах експлуатації.

Двигуни постійного струму належать до найпростіших за принципом дії та системою керування електричних машин. Вони перетворюють електричну енергію постійного струму на механічну за рахунок взаємодії магнітного поля та електричного струму, що протікає в обмотках якоря. Саме завдяки можливості плавного і точного регулювання швидкості обертання та крутного моменту ці двигуни були широко поширені в перших електромобілях і недорогих транспортних засобах.

Конструктивно двигун постійного струму складається зі статора, ротора (якоря), комутатора та щіток. Статор є нерухомою частиною двигуна і створює магнітне поле за допомогою електромагнітів або постійних магнітів. Ротор розміщений усередині статора та містить обмотку, по якій протікає електричний струм. Комутатор забезпечує періодичну зміну напрямку струму в обмотках якоря, а щітки слугують для передавання струму від джерела живлення до рухомих частин двигуна. У результаті взаємодії магнітного поля статора зі струмом у роторі виникає обертовий момент, який приводить вал двигуна в рух.

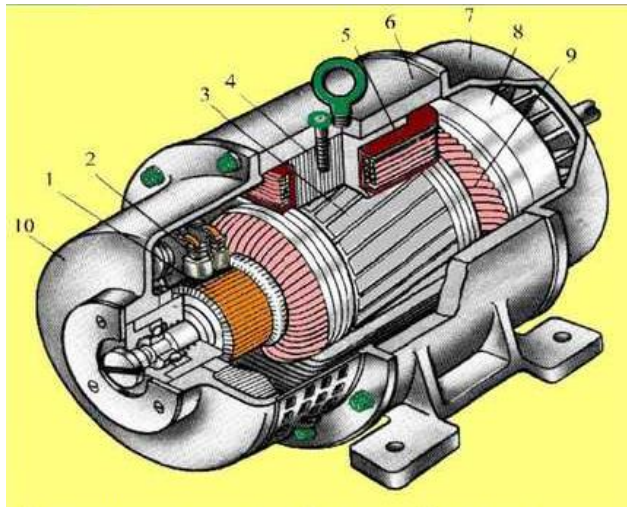


Рисунок 40 – Двигун постійного струму: 1 – колектор; 2 – щітки; 3 – сердечник якоря; 4 – головний полюс; 5 – полюсна котушка обмотки збудження; 6 – станина; 7, 10 – підшипникові щити; 8 – вентилятор; 9 – обмотка якоря

Швидкість обертання двигуна постійного струму легко регулюється шляхом зміни напруги або сили струму, що подається на обмотки, що робить такі двигуни універсальними та зручними для різних механічних систем. Саме ця властивість зумовила їх широке застосування в промисловості, побутовій техніці, системах вентиляції, насосному обладнанні, конвеєрних лініях, а також у безпілотних пристроях і малопотужних електричних транспортних засобах.

Разом з тим наявність колекторно-щіткового вузла є суттєвим недоліком двигунів постійного струму. Щітки зношуються, потребують регулярного технічного обслуговування та знижують загальну надійність і коефіцієнт корисної дії. З цієї причини в сучасних електромобілях їх використання обмежене, а перевага надається асинхронним і синхронним двигунам змінного струму.

Окремим різновидом є безщіткові двигуни постійного струму, в яких механічну комутацію замінено електронною. Це дозволяє суттєво підвищити ККД, зменшити втрати на тертя та збільшити ресурс роботи. Такі двигуни відрізняються високою ефективністю, точністю керування і мінімальними вимогами до обслуговування, однак потребують складнішої та дорожчої системи керування.

У цілому двигуни постійного струму залишаються важливим класом електричних машин завдяки простоті, універсальності та можливості точного регулювання параметрів, однак у силових установках сучасних електромобілів вони поступово поступаються місцем більш ефективним і довговічним електродвигунам змінного струму.

Асинхронні електродвигуни змінного струму є одним із найбільш поширених типів тягових двигунів у сучасних електромобілях. Вони вирізняються простою та надійною конструкцією, відсутністю постійних магнітів і, відповідно, потреби у використанні рідкоземельних матеріалів. Це зменшує їхню вартість і знижує залежність від дефіцитних та дорогих компонентів. Асинхронні двигуни здатні ефективно працювати у широкому діапазоні швидкостей, характеризуються достатньо високим коефіцієнтом корисної дії та стійкістю до перевантажень, що робить їх придатними для серійного автомобілебудування.

Електродвигун змінного струму, так само як і двигун постійного струму, призначений для перетворення електричної енергії на механічну. Його робота ґрунтується на створенні обертового магнітного поля в статорі, яке індукуює електричні струми в роторі та змушує його обертатися. Двигуни змінного струму відомі своєю високою надійністю, ефективністю та відносною простотою експлуатації.

Цей тип електродвигунів широко застосовується не лише в електромобілях, а й у промисловому обладнанні, транспортних системах та побутовій техніці. На відміну від двигунів постійного струму, яким необхідний комутатор для перемикання напрямку струму, двигуни змінного струму живляться змінним струмом, що постійно змінює свій напрямок. Завдяки цьому відпадає потреба у колекторно-щітковому вузлі, що підвищує довговічність і знижує потребу в обслуговуванні. Залежно від конструкції та системи керування, двигуни змінного струму можуть працювати з фіксованою або регульованою швидкістю обертання.

Принцип роботи двигуна змінного струму полягає в подачі змінного струму на статор – нерухому частину двигуна, яка складається з системи обмоток або електромагнітів. Під час протікання струму в обмотках статора формується обертове магнітне поле. Частота змінного струму визначає швидкість обертання цього поля, а отже і швидкість обертання ротора. Ротор, виконаний у вигляді короткозамкнених стрижнів або обмоток, взаємодіє з магнітним полем статора, унаслідок чого виникає електромагнітна сила, що приводить його в рух. Змінюючи частоту живлення за допомогою інвертора, можна ефективно регулювати швидкість і крутний момент двигуна.

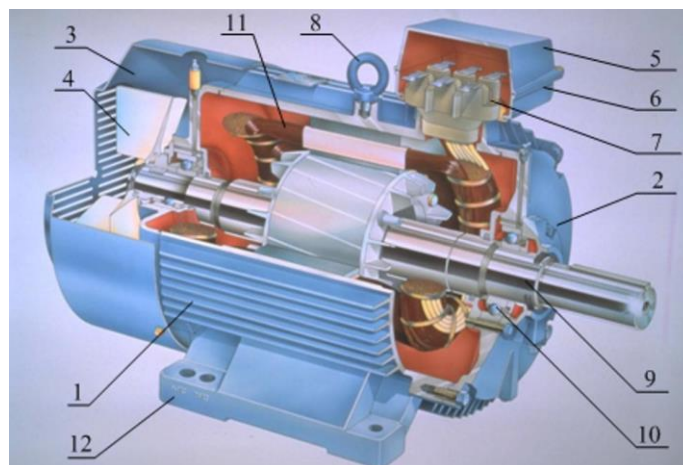


Рисунок 41 – Асинхронний електродвигун змінного струму:

- 1 - статор; 2 - підшипниковий щит; 3 – кришка вентилятора; 4 - вентилятор;
- 5 - кришка; 6 - клемна коробка; 7 - клемна панель; 8 - рем-болт; 9 - ротор;
- 10 - підшипник; 11 – обмотка статора; 12- лапи

Серед двигунів змінного струму розрізняють кілька основних типів. Синхронні двигуни працюють із фіксованою швидкістю, яка жорстко пов'язана з частотою живлення, і широко використовуються в системах точного керування та електроенергетиці. Асинхронні двигуни,

навпаки, обертаються з дещо меншою швидкістю, ніж швидкість обертання магнітного поля статора, що і зумовило їх назву. Саме асинхронні двигуни отримали найбільше поширення завдяки простоті конструкції та надійності.

За типом живлення асинхронні двигуни змінного струму поділяються на однофазні, які працюють від побутової мережі напругою 220 В, та трифазні, що живляться від мережі 380/660 В. Кожен із цих типів має свої технічні характеристики та сферу застосування.

Загалом двигуни змінного струму є одними з найпоширеніших електродвигунів у світі. Їхня висока енергоефективність, здатність працювати в широкому діапазоні режимів та універсальність роблять їх економічно вигідними і технічно доцільними для використання в сучасних електромобілях та багатьох інших галузях техніки.

Синхронні електродвигуни з постійними магнітами широко застосовуються у потужних та технологічно складних електромобілях. Їх характерною особливістю є високий коефіцієнт корисної дії, значна питома потужність і компактні габарити, що дозволяє зменшити масу силової установки та підвищити енергоефективність транспортного засобу. Завдяки цим властивостям автомобілі, оснащені такими двигунами, здатні забезпечувати більший запас ходу за однакової ємності батареї. Водночас використання постійних магнітів на основі рідкоземельних матеріалів обумовлює вищу собівартість двигуна та підвищену чутливість до перегріву, що потребує застосування ефективних систем охолодження. Саме тому синхронні двигуни з постійними магнітами найчастіше встановлюються на електромобілях середнього та преміального класу.

Синхронний двигун з постійними магнітами поєднує у собі принципи дії постійних магнітів і електромагнітної індукції. У його конструкції магнітне поле ротора формується постійними магнітами, тоді як в обмотках статора під дією змінного струму створюється обертове магнітне поле. Особливістю такого двигуна є те, що ротор обертається з тією ж кутовою швидкістю, що й магнітне поле статора, тобто синхронно з ним. Саме ця властивість зумовлює стабільність роботи, високу точність керування та високі показники ефективності.

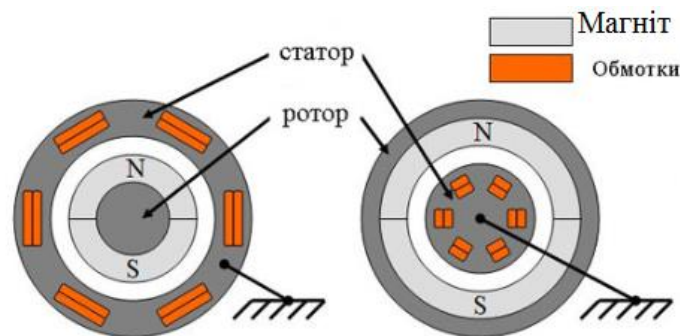


Рисунок 42 – Схема синхронного двигуна з постійними магнітами

Конструктивно синхронний двигун з постійними магнітами складається зі статора, ротора та системи електронного керування. Статор виготовляється з листів електротехнічної кремнієвої сталі, складених у пакети, що дозволяє зменшити втрати на вихрові струми та гістерезис. У пазах статора розміщуються обмотки, по яких протікає змінний струм і формується обертове магнітне поле. Ротор містить постійні магніти, зазвичай на основі неодим-залізо-бору, які створюють потужне та стабільне магнітне поле без потреби у додатковому електричному збудженні. Важливою складовою є контролер, який забезпечує формування та регулювання струмів у статорних обмотках відповідно до режиму роботи двигуна.

Принцип роботи синхронного двигуна з постійними магнітами полягає в наступному. Під час подачі електричного струму на обмотки статора створюється обертове магнітне поле, швидкість якого визначається частотою живлення. Магнітне поле ротора, сформоване постійними магнітами, взаємодіє з полем статора і прагне зайняти положення магнітної рівноваги. У результаті ротор починає обертатися слідом за обертовим магнітним полем статора без ковзання, тобто з точно такою ж швидкістю. Електронний контролер у режимі

реального часу регулює фазу, амплітуду та частоту струмів у статорних обмотках, що дозволяє точно керувати крутним моментом і швидкістю обертання двигуна.

Завдяки синхронному режиму роботи такі двигуни характеризуються високою стабільністю, мінімальними втратами енергії та високою ефективністю в широкому діапазоні навантажень. Це робить синхронні електродвигуни з постійними магнітами одним із найбільш перспективних і поширених рішень у сучасному електромобілебудуванні, де особливу роль відіграють енергоефективність, компактність та точність керування тяговим приводом.

ДО13 Енергетичний блок електромобіля: акумулятор і зарядні пристрої

Енергетичний блок електромобіля складається з двох ключових компонентів. Перший – високовольтна тягова батарея, зазвичай літій-іонна, яка живить електродвигун і визначає запас ходу автомобіля. Ця батарея складається з великої кількості елементів, з'єднаних у серії та паралелі, і керується системою управління батареєю (BMS), що контролює заряд, розряд, температуру та балансування елементів. Другий компонент – 12-вольтовий акумулятор, що забезпечує живлення бортової електроніки, світла, мультимедіа та запуску систем. Він автоматично підзаряджається від високовольтної батареї через перетворювач постійного струму.

Сучасні літій-іонні батареї (Li-ion) є ключовим компонентом електромобілів, який визначає їхню автономність, динаміку та ефективність використання енергії. Вони складаються з кількох основних елементів: позитивного електрода (катода), негативного електрода (анода) та електроліту, який забезпечує перенесення іонів літію під час заряджання та розряджання. Завдяки цій конструкції електроенергія зберігається ефективно на обмеженому просторі, що дозволяє створювати компактні та легкі батареїні блоки без значного збільшення маси автомобіля.

Сучасні літій-іонні батареї саморегулюються завдяки вбудованій системі управління батареєю (BMS – Battery Management System), яка стежить за станом кожного елемента, контролює напругу, струм, температуру та баланс між осередками. Це дозволяє продовжити термін служби батареї, запобігати її перегріву або глибокому розряду, а також підтримувати стабільну ефективність під час експлуатації. Тривалість роботи сучасних Li-ion батарей складає 10–15 років, а кількість циклів заряджання-розряджання може перевищувати 2 000–3 000 циклів, що забезпечує довгострокову надійність автомобіля.

В останні роки впроваджуються також літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄, LFP) батареї, які відрізняються високою термостабільністю та безпечністю експлуатації, а також відносно низькою вартістю. Вони менш схильні до перегріву і термічного розгону, що робить їх більш надійними для масових електромобілів, особливо в умовах інтенсивного використання та швидких циклів зарядки.

Високовольтна тягова батарея є найдорожчим компонентом електромобіля: її вартість може становити 30–50% ціни автомобіля. Від її ємності, хімічного складу та ефективності залежить не лише запас ходу автомобіля, але й динаміка розгону, можливості рекуперації енергії та термін служби всього транспортного засобу.

Для заряджання батарей використовується зарядна інфраструктура, яка включає порти зарядки та бортові зарядні пристрої. Вони перетворюють змінний струм від зовнішнього джерела на постійний для батареї та контролюють ключові параметри процесу: напругу, струм, температуру та швидкість заряду. Деякі зарядні пристрої підтримують двонаправлений потік енергії, що дозволяє використовувати батарею для живлення електромережі або підзаряджання від рекуперативного гальмування.

Основні переваги сучасних літій-іонних батарей:

- висока енергоємність, що забезпечує великий запас ходу на одному заряді;
- компактність і легкість, що зменшує загальну масу автомобіля та покращує динаміку;
- тривалий термін служби, до 10–15 років, із стабільними характеристиками протягом більшості експлуатаційного періоду;
- велика кількість циклів заряд-розряд, що гарантує надійність та довговічність;

- сумісність із сучасними системами управління та зарядною інфраструктурою, включаючи швидкісні зарядки та рекуперацію енергії.

Завдяки цим характеристикам літій-іонні батареї залишаються основним рішенням для електромобілів середнього та преміального класу, а розвиток технологій (LFP, твердотільні батареї) забезпечує подальше зростання безпеки, ефективності та економічності електричного транспорту.

Літій-полімерні (Li-Po) акумулятори є еволюційним розвитком літій-іонних батарей. Вони працюють за схожим принципом: у них є позитивний електрод (катод), негативний електрод (анод) та електроліт, через який відбувається перенос іонів літію під час зарядки та розрядки. Основною відмінністю є використання гелевого або полімерного електроліту замість рідкого, який застосовується у Li-ion акумуляторах. Завдяки цьому Li-Po батареї мають більш компактну та гнучку конструкцію.

Ця гнучкість дозволяє адаптувати форму акумуляторного блоку під конкретні просторові вимоги електромобіля. Наприклад, батареї можна розташувати у складних геометричних нішах кузова або під підлогою салону, що оптимізує центр ваги автомобіля та збільшує внутрішній простір.

Ще однією важливою перевагою Li-Po є нижча теплова активність. Гелевий електроліт зменшує ризик перегріву та теплового розгону (thermal runaway), що робить ці батареї більш безпечними під час інтенсивного використання, особливо при швидких циклах зарядки.

Тривалість служби літій-полімерних акумуляторів порівнянна з Li-ion: за належних умов експлуатації вони можуть забезпечувати 8–10 років або понад 1 500–2 000 циклів заряд/розряд. Однак їх внутрішній опір трохи вищий, що може впливати на пікову потужність при високих струмах. Тому Li-Po батареї найчастіше використовують у електромобілях середнього та преміального класу, де критично важлива компоновка та безпека, а не максимальна пікова потужність.

Літій-полімерні акумулятори дозволяють:

- раціонально використовувати обмежений простір автомобіля;
- зменшити загальну масу силової установки;
- підвищити безпеку завдяки зниженню ризику перегріву;
- забезпечити тривалий термін служби та стабільний запас ходу.

Твердотільні акумулятори (Solid-State Batteries, SSB) представляють собою передову технологію зберігання енергії, яка відрізняється від традиційних літій-іонних батарей заміною рідкого або гелевого електроліту на твердий електроліт. Це дає кілька ключових переваг:

- вища енергощільність – твердотільні батареї можуть зберігати більше енергії на одиницю об'єму або маси, що дозволяє збільшити запас ходу електромобіля без збільшення ваги;
- покращена безпека – тверді електроліти менш схильні до загоряння та термічного розгону, що значно знижує ризик пожежі при механічних пошкодженнях або перегріві;
- довговічність – менше деградації при циклічному заряджанні та розряджанні, що збільшує ресурс батареї;
- компактність і гнучкість конструкції – твердотільні акумулятори можна компоувати у більш тонкі та компактні модулі, оптимізуючи простір у автомобілі.

Незважаючи на ці переваги, технологія поки що знаходиться на етапі прототипів та дослідних зразків, а комерційне виробництво заплановане на найближчі роки. Висока вартість виробництва та технічні складнощі у виготовленні великих модулів залишаються головними перешкодами для масового впровадження.

Акумулятори електромобілів заряджаються за допомогою різних джерел електроенергії, що визначає швидкість та ефективність процесу. Основні способи заряджання:

- стандартні домашні розетки (AC, побутові 220 В): найповільніший метод заряджання, підходить для нічного підключення. Зарядка забезпечує приблизно 8–12 км пробігу на годину. Для повного заряду великої батареї може знадобитися до 10–12 годин.
- середні зарядні станції (AC charging, 7–22 кВт): забезпечують баланс між швидкістю та ефективністю. Повний заряд батареї досягається за 4–6 годин, що робить їх зручними для домашніх або громадських паркувальних майданчиків.
- швидкі зарядні станції (DC fast charging, 50–350 кВт): дає змогу зарядити батарею до 80% всього за 30–40 хвилин, використовується на спеціальних зарядних пунктах вздовж трас і в міських зонах швидкого підзаряджання.

Час зарядки залежить від ємності акумулятора, типу зарядної станції та стану батареї. Наприклад, акумулятор 60–100 кВт·год на швидкій DC-станції заряджається приблизно 30–60 хвилин до 80%, тоді як від домашньої розетки такий же акумулятор заряджається 8–12 годин.

Запас ходу визначається ємністю батареї та її ефективністю. Сучасні електромобілі забезпечують від 200 до 600 км пробігу на одному заряді. Автомобілі початкового рівня зазвичай мають 250–350 км, а преміальні моделі – понад 500 км. Висока енергоємність батарей дозволяє ефективно використовувати електромобіль для повсякденних поїздок і тривалих маршрутів, особливо при наявності швидких зарядних станцій.

Інший спосіб класифікації зарядки електромобілів за режимами (Mode 1–4) базується на типі струму, потужності та обладнанні, що використовується, і дозволяє систематизувати способи підзарядки батарей:

- Mode 1 – найпростіший і найповільніший спосіб зарядки від звичайної мережі змінного струму без спеціального контролю. Струм обмежений ~10–16 А (2–3,7 кВт), час повного заряду може сягати 10–24 годин. Через відсутність безпечного контролю цей режим практично застарів.
- Mode 2 – зарядка від стандартної розетки із використанням переносного блока керування (EVSE), що забезпечує безпеку. Потужність до 3,7–7 кВт, час повного заряду середнього електромобіля – 6–8 годин. Підходить для домашнього використання.
- Mode 3 – зарядка змінним струмом підвищеної потужності через стаціонарні станції (настінні або напільні «Wallbox»). Забезпечує комунікацію між авто і станцією для контролю процесу та безпеки. Потужність до 22 кВт (трифазний струм 32 А), повний заряд – 3–4 години. Використовуються роз'єми Type 1 або Type 2.
- Mode 4 – швидке заряджання постійним струмом (DC fast charging). Станція подає струм безпосередньо в батарею, обминаючи бортовий зарядний пристрій. Потужність від 50 до понад 250 кВт, час зарядки до 80% – 20–30 хвилин. Сюди відносяться фірмові станції, наприклад Tesla Supercharger.

У Північній Америці застосовується термінологія Level 1–3, що відповідає європейським Mode 1/2 та Mode 4:

- Level 1 – побутова розетка 120 В AC (повільна зарядка).
- Level 2 – 240 В AC (швидка домашня або громадська AC-зарядка).
- Level 3 – DC швидка зарядка (експрес).

Ця класифікація допомагає правильно планувати зарядку електромобіля залежно від часу, доступної потужності та типу станції.

Зарядне обладнання електромобіля класифікується також за способом встановлення та умовами використання. Виділяють три основні типи:

- комерційні (стаціонарні підлогові) станції – великогабаритні підлогові зарядки, що встановлюються на громадських стоянках, АЗС або уздовж трас. Потужність від 50 кВт і більше, часто модульні, здатні обслуговувати кілька автомобілів одночасно. Призначені для інтенсивного щоденного використання та швидкого підзаряджання на трасі десятків автомобілів на день.



Рисунок 43 – Комерційна стаціонарна зарядна станція

– настінні станції (Wallbox) – стаціонарні зарядні пристрої, змонтовані на стіні гаража, житлового комплексу або офісного центру. Потужність 7–22 кВт, призначені для тривалої підзарядки, наприклад, вночі вдома або протягом робочого дня. Компактні, зручні, водій має власну персональну «міністанцію» – досить припаркувати авто та підключити кабель.



Рисунок 44 – Настінна зарядна станція

– портативні станції – переносні зарядні пристрої, які водій може брати з собою. Зазвичай потужність 2–7 кВт. Використовуються для підзарядки від стандартних розеток у дорозі, на дачі або в гостях. Підзарядка повільна, але забезпечує гнучкість і автономність у ситуаціях, де немає стаціонарної станції. Часто це кабель Mode 2 з блоком керування, інколи з можливістю адаптації під різні вилки.



Рисунок 45 – Портативні зарядні станції

Окрім потужності та режиму, електромобілі відрізняються типами роз'ємів для підключення до зарядки. Типи роз'ємів для зарядки електромобілів визначають, як автомобіль підключається до зарядної станції, і залежать від регіону та стандартів виробника. Основне призначення роз'єму – забезпечити безпечну передачу струму від джерела живлення до батареї автомобіля та можливість комунікації між зарядною станцією і авто для контролю процесу зарядки.

Основні типи роз'ємів:

- Type 1 (SAE J1772) – односторонній роз'єм для змінного струму (AC), поширений у Північній Америці та Японії. Зазвичай підтримує потужність до 7,4 кВт (однофазний).
- Type 2 (Mennekes) – стандарт Європи для змінного струму (AC), односторонній або трифазний. Потужність до 22 кВт (трифазний) у домашніх та громадських AC-станціях. Найпоширеніший роз'єм у ЄС.
- CCS (Combined Charging System) – комбінований роз'єм, який додає контакти для швидкої зарядки постійним струмом (DC) до Type 1 або Type 2. Дозволяє отримати високу потужність зарядки (50–350 кВт), широко застосовується у сучасних європейських та американських електромобілях.
- CHAdeMO – японський стандарт швидкої DC-зарядки, використовується, наприклад, у Nissan Leaf. Потужність до 100 кВт. Підтримує двонаправлене заряджання (Vehicle-to-Grid, V2G).
- Tesla Connector – власний фірмовий роз'єм компанії Tesla, який використовується на всіх її моделях у США та Європі (для швидкої та повільної зарядки). У Європі Tesla адаптувала Type 2 для AC та CCS для DC.



Рисунок 46 – Основні типи роз'ємів

Кожен тип роз'єму має свої особливості щодо потужності, швидкості зарядки та регіональної сумісності. Правильний вибір роз'єму забезпечує безпечну, швидку та ефективну зарядку акумулятора.

У реальних ситуаціях різниця роз'ємів означає, що не будь-який кабель підійде до будь-якого електромобіля. Як варіант, європейський водій Nissan Leaf (у якого порт CHAdeMO) може заряджатися на швидкій станції лише за наявності на ній кабелю CHAdeMO. На багатьох сучасних зарядних пунктах уже є лише роз'єми CCS. Інший приклад: американський електрокар з роз'ємом Type 1 не зможе приєднатися до європейської розетки Type 2 без адаптера. Саме тому знання свого роз'єму і підтримуваних стандартів так важливо при плануванні поїздок на електромобілі.

ДО14 Запас ходу електромобілів: фактори, що впливають

Запас ходу електромобіля визначається як відстань, яку транспортний засіб може подолати на одному заряді акумулятора. Це один із ключових показників ефективності та практичності електромобіля, оскільки він безпосередньо впливає на автономність руху,

планування поїздок та комфорт користування. Реальний запас ходу часто відрізняється від заявленого виробником через низку технічних та зовнішніх чинників.

До основних факторів, що впливають на запас ходу, належать ємність батареї, тип батареї, ефективність електродвигуна, аеродинаміка, маса автомобіля, стан батареї, стиль водіння, швидкість руху, дорожні умови, рельєф, кліматичні системи та маса пасажирів і вантажу тощо.

Ємність тягової батареї

Ємність тягової батареї визначає загальну кількість електричної енергії, яку акумулятор здатний накопичувати та передавати електродвигуну під час руху. Вимірюється вона в кВт·год і є базовим параметром, що прямо впливає на запас ходу електромобіля. Чим більша ємність батареї, тим довшу відстань автомобіль може подолати без підзарядки, адже більший обсяг накопиченої енергії дозволяє довше жити тяговий двигун у штатних режимах руху.

У сучасних моделях ємність батареї варіюється від 24–40 кВт·год для міських компактних авто до 80–120 кВт·год у кросоверів та преміальних електромобілів. Ефективність використання наявної енергії залежить також від хімічного складу акумулятора, оскільки різні типи батарей відрізняються щільністю енергії, продуктивністю при низьких температурах та довговічністю. Літій-іонні (Li-ion) батареї забезпечують високу щільність енергії та стабільну продуктивність у більшості умов, літій-залізо-фосфатні (LFP) мають триваліший ресурс і більшу термостабільність, проте нижчу енергоємність, а нікель–кобальт–алюмінієві (NCA) відрізняються дуже високою щільністю енергії, що збільшує запас ходу, але вимагає складнішого охолодження та дорожче в виробництві.

Таким чином, ємність батареї та її хімічний тип визначають базовий потенціал пробігу електромобіля, тоді як інші фактори лише впливають на реальний запас ходу під час експлуатації.

Температура навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища значною мірою впливає на роботу тягової батареї та фактичний запас ходу електромобіля. Акумуляторні елементи мають оптимальний температурний діапазон, зазвичай 15–30 °С, у межах якого вони демонструють максимальну віддачу енергії та мінімальні втрати.

При низьких температурах знижується здатність батареї віддавати накопичену енергію через охолодження електроліту та уповільнення хімічних процесів. Це призводить до зменшення доступної ємності (інколи на 20–40%), підвищення внутрішнього опору акумулятора, збільшення витрат енергії на обігрів салону та батареї, а також зниження ефективності рекуперативного гальмування. У таких умовах запас ходу може суттєво зменшуватися порівняно з номінальними значеннями.

Високі температури тимчасово покращують продуктивність батареї, проте створюють ризики прискореної деградації елементів, перегріву при тривалих навантаженнях, збільшення енергоспоживання системою охолодження та можливого обмеження потужності через захисні алгоритми (thermal derating). Тривалий рух при температурах понад 35–40 °С може прискорювати цикли охолодження та скорочувати ресурс батарейного блоку.

Температура навколишнього середовища є ключовим фактором, що визначає реальний запас ходу та довговічність батареї. Системи термоконтролю сучасних електромобілів частково компенсують вплив зовнішніх умов, але повністю його усунути неможливо.

Стиль водіння

Стиль водіння істотно впливає на фактичний запас ходу електромобіля. Тяговий електродвигун миттєво реагує на зміну навантаження, тому різкі прискорення та інтенсивні гальмування призводять до високого споживання енергії. Часті розгони та зупинки, характерні для міського руху, формують «неефективний цикл», у якому батарея витрачається швидше, ніж при рівномірній їзді.

Рекуперативне гальмування при різких зупинках не завжди встигає відновити достатню частину енергії, що також зменшує економічність руху. Плавна і передбачувана їзда з поступовим прискоренням і контрольованим гальмуванням дозволяє знизити миттєві

навантаження на батарею та електродвигун, підвищити ефективність рекуперації і підтримувати стабільне споживання енергії близьке до оптимального.

Економічний стиль водіння, який передбачає помірну швидкість і мінімум різких маневрів, може збільшити фактичний запас ходу на 15–25 %, особливо у змішаному або міському трафіку. Таким чином, стиль водіння є одним із керованих чинників, що дозволяє водію суттєво підвищити ефективність використання запасу ходу електромобіля без додаткових технічних втручань.

Швидкість руху

Швидкість руху істотно впливає на енергоспоживання електромобіля та фактичний запас ходу. Ефективність руху напряму залежить від аеродинамічного опору, який зростає зі збільшенням швидкості. На високих швидкостях опір повітря зростає в геометричній прогресії, що змушує електродвигун витратити значно більше енергії. Наприклад, збільшення швидкості з 90 до 120 км/год може підвищити енергоспоживання на 25–40 %, відповідно зменшуючи запас ходу.

При русі швидше за оптимальний діапазон електромобіль працює під підвищеним навантаженням, що призводить до швидкого зростання витрат енергії, підвищення теплового навантаження на акумулятор та систему охолодження, а також зниження ефективності рекуперації при гальмуванні.

Найекономічніший режим руху – помірний і стабільний швидкість у межах 50–90 км/год. У цьому діапазоні опір повітря ще невисокий, а електродвигун працює в зоні оптимальної продуктивності. Рух зі сталою швидкістю без частих прискорень і гальмувань забезпечує максимальну економію енергії та найбільший пробіг на одному заряді, що враховується при вимірюванні офіційного запасу ходу за стандартами WLTP або EPA.

Аеродинаміка кузова

Аеродинамічні властивості кузова суттєво впливають на енергоспоживання електромобіля, особливо при русі на середніх і високих швидкостях. Будь-яка взаємодія автомобіля з повітряним потоком створює аеродинамічний опір, який електродвигун змушений долати, витрачаючи додаткову енергію.

Обтічні форми кузова значно зменшують опір повітря. Чим нижчий коефіцієнт лобового опору (C_d), тим менше енергії потрібно для підтримання заданої швидкості. Сучасні електромобілі мають більш гладкі поверхні, закриті решітки радіатора та оптимізовану геометрію днища, що дозволяє знизити навантаження на електродвигун, зменшити витрати енергії під час руху та підвищити запас ходу на трасі на 5–15 %.

Додаткові зовнішні елементи, такі як багажники на даху, бокові кофри, велосипедні тримачі, дефлектори або нештатні спойлери, змінюють аеродинаміку автомобіля. Вони збільшують лобову площу і турбулентність повітряного потоку, підвищують аеродинамічний опір на 5–30 % та можуть зменшувати запас ходу на 10–25 % при русі на автошляхах. Навіть відкрите вікно на високій швидкості створює турбулентні зони та підвищує споживання енергії.

Раціональна аеродинамічна форма кузова та відсутність зайвих зовнішніх елементів сприяють підвищенню енергоефективності електромобіля та збільшенню фактичного пробігу на одному заряді.

Маса транспортного засобу

Маса електромобіля суттєво впливає на рівень його енергоспоживання, особливо під час руху з частими змінами швидкості або на ділянках із підйомами. Оскільки електродвигун має виконувати роботу з переміщення всієї маси транспортного засобу, її збільшення безпосередньо підвищує витрати енергії.

Чим важчий автомобіль, тим більше енергії необхідно для розгону з місця або після уповільнення, подолання гравітаційних сил на підйомах та підтримання стабільної швидкості за змінних дорожніх умов. У міському циклі, де переважають часті зупинки й розгони, додаткова маса впливає на енергоспоживання значніше, ніж на рівній трасі.

Вага батареї становить значну частку загальної маси електромобіля – у середньому тяговий акумулятор займає 20–30 % від загальної маси. Великі батареї забезпечують більший

запас ходу, проте водночас збільшують масу, що впливає на динаміку та енергоефективність, підвищує навантаження на шини, гальмівну систему та підвіску, а також може зменшувати вигоди від рекуперації при низьких швидкостях.

Виробники прагнуть знайти оптимальний баланс між ємністю батареї та загальною масою автомобіля, впроваджуючи легкі матеріали – алюміній, композити, високоміцні сталі. Маса транспортного засобу є одним із ключових конструктивних параметрів, що визначають фактичний запас ходу, особливо в умовах міського руху та на маршрутах зі складним рельєфом.

Тиск у шинах і тип шин

Стан шин безпосередньо впливає на енергоефективність електромобіля, оскільки саме вони забезпечують контакт із дорожнім покриттям і визначають величину опору коченню. Будь-які відхилення у тиску або характеристиках шин можуть істотно зменшувати запас ходу.

Недостатній тиск у шинах збільшує площу контакту колеса з дорогою, деформує бокові стінки та підвищує температуру шин, що потребує додаткової енергії для обертання коліс і прискорює їх зношування. Внаслідок цього опір коченню може зрости на 10–20%, що зменшує запас ходу на 5–10%, особливо в міських умовах.

Тип шин також впливає на енергоспоживання. Для електромобілів застосовують спеціальні енергоефективні або «зелені» шини з оптимізованою гумовою сумішшю, жорсткими боковинами та спеціальною структурою протектора. Вони дозволяють знизити витрати енергії на 3–8%, подовжити пробіг на одному заряді, зменшити шум і покращити плавність ходу.

Правильний тиск у шинах та використання енергоефективних шин є важливою складовою технічного обслуговування, що суттєво підвищує економічність руху та збільшує фактичний запас ходу електромобіля.

Використання кліматичних систем

Кліматичні системи електромобіля забезпечують комфорт водія та пасажирів, але водночас суттєво впливають на енергоспоживання. На відміну від автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння, електромобіль змушений витратити частину заряду батареї на обігрів і охолодження салону та батареї.

Обігрівач, кондиціонер, підігрів сидінь і керма споживають додаткову енергію. У холодну погоду робота кліматичних систем може збільшувати енергоспоживання на 10–15%, у сильний мороз – на 20–40%, а в спеку при використанні кондиціонера – на 5–10%. Найбільші втрати виникають під час коротких поїздок, коли система повинна швидко довести салон до комфортної температури.

Електромобілі з тепловими насосами витрачають менше енергії на обігрів. Тепловий насос переносить тепло зовнішнього середовища всередину салону з високим коефіцієнтом корисної дії, що дозволяє зменшити енергоспоживання на 30–60%, підвищити запас ходу взимку та знизити навантаження на батарею.

Раціональне керування режимами обігріву та охолодження дозволяє значно продовжити пробіг на одному заряді та підвищити ефективність електромобіля у різних кліматичних умовах.

Дорожні умови та рельєф

Дорожні умови та рельєф істотно впливають на енергоспоживання електромобіля та фактичний запас ходу. Часті зупинки, рух у заторах та гірська місцевість збільшують витрати енергії, оскільки електродвигун повинен працювати з підвищеним навантаженням при прискореннях та підйомах. У міських заторах автомобіль витрачає додаткову енергію навіть під час повільного руху або стоянки, особливо якщо активні кліматичні системи.

На підйомах електродвигун працює в режимі високої потужності, що може збільшити споживання на 20–50% порівняно з рівною дорогою. Спуски дозволяють частково відновлювати енергію через рекуперацію, коли електродвигун перетворює потенціальну енергію на електричну. Ефективність рекуперації становить приблизно 50–70%, а на крутих або тривалих спусках система може обмежувати її для захисту батареї.

Таким чином, умови дорожнього руху та рельєф маршруту є важливими зовнішніми чинниками, що можуть як збільшувати, так і частково компенсувати енергоспоживання, визначаючи реальний запас ходу електромобіля.

Стан та вік батареї

Стан та вік батареї безпосередньо впливають на реальний запас ходу електромобіля. З часом акумулятор зазнає природної деградації, що призводить до зменшення максимальної ємності, підвищення внутрішнього опору та погіршення продуктивності при екстремальних температурах. Це може супроводжуватися обмеженням потужності системою керування для захисту батареї. Швидкість деградації залежить від хімічного типу акумулятора, режимів заряджання та розряджання, температурних умов і стилю водіння.

Зниження запасу ходу після 5–8 років експлуатації зазвичай становить 10–20%. Наприклад, електромобіль із початковим запасом ходу 400 км може через кілька років ефективно проїжджати 320–360 км. Інтенсивне використання швидкісних зарядок або постійна експлуатація в екстремальних умовах прискорюють деградацію і зменшують пробіг ще більше.

Системи управління батареєю (BMS) та правильна експлуатація допомагають уповільнити процес деградації, підтримуючи більш стабільний запас ходу протягом тривалого часу. Таким чином, стан та вік батареї є ключовими чинниками довгострокової ефективності електромобіля, а регулярний контроль і догляд за акумулятором дозволяють зберігати оптимальний пробіг на одному заряді.

ДО15 Популярні моделі електромобілів

Tesla Model Y



Tesla Model Y Long Range Dual Motor – це сучасний електромобіль, який поєднує високу продуктивність, ефективність і практичність. Два електродвигуни забезпечують повний привід (AWD), що гарантує стабільність на різних дорожніх покриттях та миттєвий крутний момент для швидкого прискорення. Низький центр ваги, розташований завдяки акумулятору в нижній частині кузова, підвищує керованість і зменшує крени під час маневрування. Потужність системи становить 378 кВт (514 к.с.), крутний момент – 493 Нм, максимальна швидкість – 217 км/год, а розгін до 100 км/год відбувається за 5 секунд.

Запас ходу є однією з ключових переваг моделі. Завдяки акумулятору великої ємності автомобіль може проїжджати значні відстані без підзарядки. У міських умовах на теплу погоду запас ходу досягає 615 км, у холодну – 410 км. На трасі відповідно 395 км і 305 км, а комбінований цикл показує 485 км у теплу погоду та 355 км у холодну. Акумулятор LG M48 має номінальну ємність 75 кВт·год (72 кВт·год використовуваної), архітектуру 400 В і 4416 циліндричних елементів (96s46p), що забезпечує довговічність та стабільну ефективність. Система охолодження підтримує оптимальну температуру, а гарантія на батарею становить 8 років або 192 000 км.

Tesla Model Y підтримує різні варіанти зарядки. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 до 11 кВт забезпечує повний заряд за 7 годин 45 хвилин (швидкість 55 км/год). Швидка зарядка через CCS потужністю до 250 кВт дозволяє зарядити батарею з 10 до 80% за 29 хвилин зі швидкістю 610 км/год. Система попереднього підігріву батареї оптимізує процес зарядки в холодну погоду.

Енергоефективність автомобіля підтримується системою рекуперації енергії та управління батареєю. Споживання енергії залежить від умов експлуатації: у місті на теплу погоду – 117 Вт·год/км, у холодну – 176 Вт·год/км; на трасі відповідно 182 і 236 Вт·год/км; комбінований цикл – 148 і 203 Вт·год/км.

Безпека Tesla Model Y оцінена Euro NCAP як одна з найвищих у класі: захист дорослих пасажирів – 97%, дітей – 87%, вразливих учасників руху – 79%, системи допомоги водієві – 98%. Автомобіль оснащений адаптивним круїз-контролем, автопілотом, автоматичним екстремим гальмуванням та численними подушками безпеки.

Габарити та вага роблять автомобіль зручним для міського та міжміського використання: довжина 4751 мм, ширина 1921 мм (з дзеркалами 2129 мм), висота 1624 мм, колісна база 2890 мм, маса 2056 кг, максимальна допустима маса 2371 кг. Багажник має об'єм 854 л, зі складеними сидіннями – 2158 л, передній багажник – 117 л. Максимальна вага буксирування – 1600 кг з гальмами та 750 кг без гальм.

Салон розрахований на п'ять пасажирів, виконаний у мінімалістичному стилі з високоякісними матеріалами. Панорамне скло створює відчуття простору, центральний 15-дюймовий сенсорний екран забезпечує управління автомобілем, передбачені два кріплення Isofix для дитячих автокрісел. Складаючи задні сидіння, можна значно збільшити багажний простір, що робить Model Y зручним для подорожей і сімейного використання.

Tesla Model 3



Tesla Model 3 – це компактний електромобіль середнього класу, який поєднує високу продуктивність, ефективність та сучасні технології. Доступні версії моделі оснащені одним або двома електродвигунами, що забезпечують задній або повний привід (AWD). Система приводу гарантує стабільність на різних дорожніх покриттях, миттєвий крутний момент та швидке прискорення. Завдяки низькому центру ваги, створеному акумулятором у підлозі автомобіля, забезпечується відмінна керованість і мінімальні крени під час маневрування. Потужність електродвигунів варіюється залежно від комплектації: від 211 кВт (Standard Range Plus) до 377 кВт (Performance), максимальна швидкість – до 261 км/год, а розгін 0–100 км/год – від 5,6 до 3,3 секунд.

Запас ходу Tesla Model 3 також є однією з її головних переваг. Автомобіль оснащений акумулятором великої ємності, що дозволяє долати значні відстані без частих підзарядок. У міських умовах запас ходу у версії Long Range досягає до 568 км у теплу погоду та 430 км у холодну, на трасі відповідно 507 км і 384 км, а комбінований цикл показує 523 км і 407 км. Акумулятор розроблений для довговічності та стабільної роботи в будь-яких умовах, має архітектуру 400 В, циліндричні або прямокутні елементи залежно від серії, із системою охолодження, що підтримує оптимальну температуру, та гарантією 8 років або 192 000 км.

Tesla Model 3 підтримує різні варіанти зарядки. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 забезпечує потужність до 11 кВт, повний заряд займає близько 7–8 годин (швидкість зарядки – до 55 км/год). Швидка зарядка через CCS потужністю до 250 кВт дозволяє зарядити батарею з 10 до 80% приблизно за 30 хвилин зі швидкістю до 610 км/год. Система попереднього підігріву батареї оптимізує процес зарядки в холодну погоду.

Енергоефективність автомобіля підтримується системою рекуперації енергії та управління батареєю. Споживання електроенергії залежить від умов експлуатації: у місті на

теплу погоду – 120 Вт·год/км, у холодну – 176 Вт·год/км; на трасі відповідно 175 і 230 Вт·год/км; комбінований цикл – 142 і 202 Вт·год/км.

Безпека Tesla Model 3 оцінена Euro NCAP як одна з найвищих у класі: захист дорослих пасажирів – 96%, дітей – 85%, вразливих учасників руху – 76%, системи допомоги водієві – 98%. Автомобіль оснащений адаптивним круїз-контролем, автопілотом, автоматичним екстремим гальмуванням та численними подушками безпеки.

Габарити та вага роблять автомобіль зручним для міського та міжміського використання: довжина 4694 мм, ширина 1849 мм (з дзеркалами 2088 мм), висота 1443 мм, колісна база 2875 мм, маса 1625–1847 кг залежно від комплектації, максимальна допустима маса (GVWR) – 2260–2290 кг. Багажник має об'єм 425 л, зі складеними сидіннями – 892 л, передній багажник (frunk) – 117 л. Максимальна вага буксирування – 910 кг без гальм, 1000 кг із гальмами.

Салон Tesla Model 3 розрахований на п'ять пасажирів і виконаний у мінімалістичному стилі. Центральний 15-дюймовий сенсорний екран забезпечує управління усіма функціями автомобіля. Панорамне скло створює відчуття простору, сидіння виконані з високоякісних матеріалів, передбачені два кріплення Isofix для дитячих автокрісел. Складаючи задні сидіння, можна значно збільшити багажний простір, що робить Model 3 зручною для щоденного використання та подорожей.

Nissan Leaf



Nissan Leaf – це один із найпопулярніших компактних електромобілів у світі, який орієнтований на міську експлуатацію та короткі міжміські поїздки. Модель пропонує ефективну комбінацію доступної ціни, простоти експлуатації та технологічних рішень. Вона оснащена одним електродвигуном переднього приводу (FWD), що забезпечує достатню динаміку для міського та заміського руху, плавний розгін та комфортне керування. Потужність двигуна варіюється залежно від версії: 110–160 к.с., максимальний крутний момент – 254 Нм, максимальна швидкість – 144–157 км/год, розгін 0–100 км/год становить 7,9–11,5 секунд.

Запас ходу Nissan Leaf залежить від ємності батареї та умов експлуатації. У базовій версії Leaf e+ з акумулятором 62 кВт·год запас ходу досягає 385 км у міському циклі за теплої погоди та близько 270 км у холодну; на трасі відповідно 270–290 км і 190–210 км; комбінований цикл показує 300–325 км у теплої погоди та 210–230 км у холодну. Батарея типу Li-ion розташована в підлозі автомобіля, що забезпечує низький центр ваги, стабільну керуваність і безпечний розподіл маси. Архітектура батареї – 400 В, тип елементів – призматичні або літій-іонні модулі, гарантія на акумулятор становить 8 років або 160 000 км, залежно від ринку.

Nissan Leaf підтримує домашню зарядку та швидку зарядку. Домашня зарядка через роз'єм Type 1 (або Type 2 для європейських моделей) забезпечує потужність до 7,4 кВт, повний заряд займає близько 8–12 годин. Швидка зарядка через CHAdeMO дозволяє зарядити батарею до 80% за 40–60 хвилин із потужністю до 50 кВт.

Енергоефективність Leaf визначається стилем водіння, дорожніми умовами та використанням кліматичних систем. Середнє споживання енергії у міських умовах становить 150 Вт·год/км у теплої погоди і 200 Вт·год/км у холодну, на трасі – 165–180 Вт·год/км і 220–240 Вт·год/км відповідно; комбінований цикл – 160–175 Вт·год/км у теплої та 210–225

Вт·год/км у холодну погоду. Система рекуперації енергії допомагає підвищити ефективність, особливо у міському русі.

Безпека Nissan Leaf оцінена високими показниками Euro NCAP: захист дорослих пасажирів – 94%, дітей – 86%, вразливих учасників руху – 77%, системи допомоги водієві – 88%. Автомобіль оснащений адаптивним круїз-контролем, системою аварійного гальмування, допомогою при утриманні смуги руху та подушками безпеки для всіх пасажирів.

Габарити та маса роблять Leaf зручним для міських умов: довжина – 4490 мм, ширина – 1790 мм (з дзеркалами 1788–1790 мм), висота – 1540 мм, колісна база – 2700 мм, маса – 1580–1650 кг, максимальна допустима маса (GVWR) – 2010 кг. Багажник має об'єм 435 л, передній багажник відсутній.

Салон Nissan Leaf розрахований на п'ять пасажирів і виконаний із акцентом на комфорт та функціональність. Інтер'єр оснащений сенсорним 8-дюймовим або 10,8-дюймовим екраном (залежно від комплектації), зручними сидіннями, кріпленнями Isofix для дитячих автокрісел і достатньою кількістю місць для зберігання дрібних речей. Складні задні сидіння дозволяють значно збільшити багажний простір, що робить автомобіль практичним для повсякденного використання та невеликих поїздок за місто.

Volkswagen ID.4



Volkswagen ID.4 – це електричний кросовер середнього класу, який поєднує комфорт, технологічність та практичність для щоденного використання та подорожей. Автомобіль оснащений одним або двома електродвигунами залежно від комплектації, що забезпечує передній або повний привід (FWD/AWD). Завдяки електродвигунам ID.4 демонструє плавний розгін, стабільну керуваність і можливість адаптації до різних дорожніх умов. Потужність двигуна варіюється від 150 до 220 кВт (204–299 к.с.), максимальний крутний момент – до 460 Нм, максимальна швидкість – 160–180 км/год, розгін 0–100 км/год – 6,2–8,5 секунд.

Запас ходу ID.4 залежить від ємності батареї та умов експлуатації. У версії з батареєю 77 кВт·год максимальний запас ходу за стандартом WLTP досягає 522 км у міському циклі у теплу погоду та близько 380 км у холодну; на трасі відповідно 400–420 км і 290–320 км; комбінований цикл показує 400–420 км у теплу погоду та 300–330 км у холодну. Батарея Li-ion розташована в підлозі автомобіля, що забезпечує низький центр ваги та покращену стабільність керування. Архітектура батареї – 400 В, тип елементів – призматичні літій-іонні модулі, гарантія на акумулятор – 8 років або 160 000 км.

Volkswagen ID.4 підтримує домашню зарядку та швидку зарядку. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 забезпечує потужність до 11 кВт, повний заряд займає близько 7–8 годин. Швидка зарядка через CCS дозволяє зарядити батарею до 80% за 30–38 хвилин із потужністю до 125 кВт, а на нових станціях потужністю до 150–175 кВт час зарядки може скоротитися до 25–30 хвилин.

Енергоефективність ID.4 залежить від стилю водіння, швидкості руху, дорожніх умов та використання кліматичних систем. Середнє споживання енергії у міських умовах становить 160–180 Вт·год/км у теплу погоду і 200–220 Вт·год/км у холодну, на трасі – 175–190 Вт·год/км і 230–250 Вт·год/км відповідно; комбінований цикл – 170–185 Вт·год/км у теплу та 210–230 Вт·год/км у холодну погоду. Система рекуперації енергії допомагає збільшити запас ходу, особливо у міському трафіку.

Безпека Volkswagen ID.4 підтверджена високими оцінками Euro NCAP: захист дорослих пасажирів – 91%, дітей – 87%, вразливих учасників руху – 77%, системи допомоги водієві – 91%. Автомобіль оснащений адаптивним круїз-контролем, системою автоматичного гальмування, утримання смуги руху, системою контролю сліпих зон та подушками безпеки для всіх пасажирів.

Габарити та маса роблять ID.4 зручним для сімейного та повсякденного використання: довжина – 4584 мм, ширина – 1852 мм (з дзеркалами – 2012 мм), висота – 1632 мм, колісна база – 2765 мм, маса автомобіля – 2045–2200 кг, максимальна допустима маса (GVWR) – 2600 кг. Об'єм багажника – 543 л, із складеними задніми сидіннями – 1575 л; передній багажник відсутній.

Салон ID.4 розрахований на п'ять пасажирів і вирізняється простором, ергономікою та сучасними технологіями. Основні елементи інтер'єру: цифрова панель приладів, 10–12-дюймовий сенсорний екран, високоякісні матеріали обшивки, кріплення Isofix для дитячих автокрісел та достатньо місця для дрібних речей. Складні задні сидіння дозволяють значно збільшити багажний простір, що робить автомобіль зручним для подорожей і повсякденного використання.

BYD Song Plus EV



BYD Song Plus EV – це електричний кросовер середнього класу, який поєднує сучасні технології, практичність і комфорт для щоденного використання та тривалих поїздок. Автомобіль оснащений одним електродвигуном із переднім приводом (FWD), що забезпечує плавний розгін, стабільну керуваність і адаптацію до різних дорожніх умов. Потужність двигуна складає 150–160 кВт (≈ 204 – 218 к. с.), максимальний крутний момент – 310–330 Н·м, максимальна швидкість – 175 км/год, розгін 0–100 км/год – 7,5–9,6 секунд.

Запас ходу BYD Song Plus EV залежить від ємності батареї та умов експлуатації. У версії з батареєю 71,7–87 кВт·год максимальний запас ходу за стандартом CLTC досягає 605 км у міському циклі у теплу погоду та близько 460 км у холодну; на трасі відповідно 520 км і 400 км; комбінований цикл показує 520 км у теплу погоду та 430 км у холодну. Батарея Blade розташована в підлозі автомобіля, що забезпечує низький центр ваги та покращену стабільність керування. Архітектура батареї – 400 В, тип елементів – літій-залізо-фосфатні модулі (LFP), гарантія на акумулятор – 8 років або 150 000 км.

BYD Song Plus EV підтримує домашню та швидку зарядку. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 забезпечує потужність до 11 кВт, повний заряд займає близько 7–9 годин. Швидка зарядка через CCS дозволяє зарядити батарею до 80% за 35–45 хвилин із потужністю до 110–120 кВт.

Енергоефективність Song Plus EV залежить від стилю водіння, швидкості, дорожніх умов та використання кліматичних систем. Середнє споживання енергії у міських умовах становить 150–170 Вт·год/км у теплу погоду і 200–220 Вт·год/км у холодну, на трасі – 170–190 Вт·год/км і 230–250 Вт·год/км відповідно; комбінований цикл – 160–180 Вт·год/км у теплу та 210–230 Вт·год/км у холодну погоду. Система рекуперації енергії допомагає збільшити запас ходу, особливо у міському трафіку.

Безпека BYD Song Plus EV підтверджена сучасними системами активної та пасивної безпеки: адаптивний круїз-контроль, система автоматичного гальмування, утримання смуги руху, контроль сліпих зон та подушки безпеки для всіх пасажирів.

Габарити та маса роблять Song Plus EV зручним для сімейного та повсякденного використання: довжина – 4700 мм, ширина – 1880 мм, висота – 1700 мм, колісна база – 2820 мм, маса автомобіля – 1920–2000 кг, максимальна допустима маса (GVWR) – 2400 кг. Об'єм багажника – 574 л, із складеними задніми сидіннями – 1477 л; передній багажник відсутній.

Салон Song Plus EV розрахований на п'ять пасажирів і відрізняється простором, ергономікою та сучасними технологіями. Основні елементи інтер'єру: цифрова панель приладів, 12,8-дюймовий сенсорний екран, високоякісні матеріали обшивки, кріплення Isofix для дитячих автокрісел та достатньо місця для дрібних речей. Складні задні сидіння дозволяють значно збільшити багажний простір, що робить автомобіль зручним для подорожей і щоденного використання.

BYD Atto 3



BYD Atto 3 – це компактний електричний кросовер, який поєднує сучасний дизайн, технологічність і практичність для міських поїздок і подорожей. Автомобіль оснащений одним електродвигуном із заднім приводом (RWD) або повним приводом (AWD) залежно від комплектації, що забезпечує плавний розгін, стабільну керуваність і адаптацію до різних дорожніх умов. Потужність двигуна варіюється від 150 до 180 кВт (≈ 204 – 245 к.с.), максимальний крутний момент – 310–350 Н·м, максимальна швидкість – 160–180 км/год, розгін 0–100 км/год – 7,3–8,5 секунд.

Запас ходу BYD Atto 3 залежить від ємності батареї та умов експлуатації. У версії з батареєю 60,5–70,9 кВт·год максимальний запас ходу за стандартом CLTC досягає 440–480 км у міському циклі у теплу погоду та 360–390 км у холодну; на трасі відповідно 360–400 км і 280–320 км; комбінований цикл показує 380–420 км у теплу погоду та 300–340 км у холодну. Батарея Blade розташована в підлозі автомобіля, що забезпечує низький центр ваги та покращену стабільність керування. Архітектура батареї – 400 В, тип елементів – літій-залізо-фосфатні модулі (LFP), гарантія на акумулятор – 8 років або 150 000 км.

BYD Atto 3 підтримує домашню та швидку зарядку. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 забезпечує потужність до 7–11 кВт, повний заряд займає близько 6–9 годин. Швидка зарядка через CCS дозволяє зарядити батарею до 80 % за 30–45 хвилин із потужністю до 80–120 кВт.

Енергоефективність Atto 3 залежить від стилю водіння, швидкості руху, дорожніх умов та використання кліматичних систем. Середнє споживання енергії у міських умовах становить 140–160 Вт·год/км у теплу погоду і 180–200 Вт·год/км у холодну, на трасі – 160–180 Вт·год/км і 210–240 Вт·год/км відповідно; комбінований цикл – 150–170 Вт·год/км у теплу та 190–220 Вт·год/км у холодну погоду. Система рекуперації енергії допомагає збільшити запас ходу, особливо у міському трафіку.

Безпека BYD Atto 3 забезпечується сучасними системами активної та пасивної безпеки: адаптивний круїз-контроль, система автоматичного гальмування, утримання смуги руху, контроль сліпих зон та подушки безпеки для всіх пасажирів.

Габарити та маса роблять Atto 3 зручним для міських і заміських поїздок: довжина – 4450 мм, ширина – 1875 мм, висота – 1615 мм, колісна база – 2720 мм, маса автомобіля – 1800–1900 кг, максимальна допустима маса (GVWR) – 2300 кг. Об'єм багажника – 440 л, із складеними задніми сидіннями – 1360 л; передній багажник відсутній.

Салон Atto 3 розрахований на п'ять пасажирів і вирізняється простором, ергономікою та сучасними технологіями. Основні елементи інтер'єру: цифрова панель приладів, 12,8-дюймовий сенсорний екран, високоякісні матеріали обшивки, кріплення Isofix для дитячих автокрісел та достатньо місця для дрібних речей. Складні задні сидіння дозволяють значно збільшити багажний простір, що робить автомобіль зручним для подорожей і щоденного використання.

Honda e:NS1



Honda e:NS1 – це компактний електричний кросовер (SUV), який поєднує сучасний дизайн, ефективну силову установку та практичність для щоденного використання й поїздок на середні відстані. Модель створена на архітектурі e:N для електромобілів і має передній привід (FWD), що забезпечує збалансовану керуваність і плавний розгін.

Запас ходу Honda e:NS1 залежить від вибраної конфігурації батареї та умов руху. У топовій версії з батареєю $\approx 68,8$ кВт·год максимальний запас ходу за циклом CLTC може досягати ≈ 510 км у помірних умовах, тоді як варіанти з меншою батареєю забезпечують приблизно 420 км пробігу. Батарея розташована в підлозі автомобіля, що сприяє низькому центру ваги і підвищеній стійкості під час руху.

Автомобіль оснащений електродвигуном потужністю 150 кВт (≈ 204 к.с.) та крутним моментом ≈ 310 Н·м, що забезпечує максимальну швидкість близько 150 км/год і розгін 0–100 км/год приблизно за 7,4–7,9 с в залежності від батареї.

Honda e:NS1 підтримує як домашню, так і швидку зарядку. Домашня зарядка через роз'єм Type 2 забезпечує потужність до ≈ 7 –11 кВт і повний заряд батареї займає близько 7–9,5 годин. Швидка DC-зарядка дозволяє зарядити батарею до $\approx 80\%$ за ~ 40 –45 хвилин при відповідній потужності.

Енергоефективність електромобіля залежить від стилю водіння, швидкості, температури та використання кліматичних систем. Система рекуперації енергії під час гальмування допомагає збільшити ефективний запас ходу, особливо в міських умовах.

Безпека та допоміжні системи включають такі функції, як адаптивний круїз-контроль, система автоматичного гальмування, утримання смуги руху, система контролю тиску в шинах, подушки безпеки та інші сучасні асистенти водія (залежно від комплектації).

Габарити та маса роблять e:NS1 зручним для міських і заміських поїздок: довжина ≈ 4390 мм, ширина ≈ 1790 мм, висота ≈ 1560 мм, колісна база ≈ 2610 мм, а маса – близько 1680–1700 кг

Салон Honda e:NS1 розрахований на п'ять пасажирів і оснащений сучасними технологіями мультимедіа (з великим сенсорним дисплеєм та Honda CONNECT), панорамним дахом, високоякісними матеріалами обшивки та численними опціями комфорту.

Honda e:NS1 пропонує збалансований набір характеристик для тих, хто шукає сучасний електромобіль SUV з хорошим запасом ходу, комфортним салоном та конкурентними технічними показниками.

ДО16 Особливості ТО електромобілів у порівнянні з ДВЗ

Технічне обслуговування електромобілів має низку принципових відмінностей порівняно з обслуговуванням автомобілів, оснащених двигуном внутрішнього згорання. Ці відмінності зумовлені особливостями конструкції електричної силової установки,

характером перетворення енергії та наявністю високовольтних електричних систем. У результаті змінюється склад регламентних робіт, їх періодичність і вимоги до персоналу, що виконує технічне обслуговування та ремонт.

Конструкція електромобіля є значно простішою з механічної точки зору, оскільки в ній відсутні традиційні агрегати, притаманні автомобілям із ДВЗ. Зокрема, електромобіль не потребує обслуговування двигуна внутрішнього згоряння, паливної апаратури, системи подачі та згоряння палива, системи змащення двигуна, а також системи випуску відпрацьованих газів. Відсутність цих вузлів усуває необхідність у таких операціях, як заміна моторної оливи, фільтрів пального та повітря, свічок запалювання, ременів газорозподільного механізму, каталізаторів і глушників.

Замість традиційної силової установки в електромобілі використовується електродвигун, який працює у взаємодії з інвертором та системою керування електроприводом. Основним джерелом енергії є тяговий акумулятор, з'єднаний з іншими компонентами через високовольтну електричну мережу. Саме ці елементи визначають специфіку технічного обслуговування електромобіля та потребують застосування спеціалізованого діагностичного обладнання.

Зменшення кількості рухомих і зношуваних механічних деталей призводить до зниження загальної трудомісткості технічного обслуговування. Водночас зростає роль перевірок стану електричних і електронних систем, програмного забезпечення, систем охолодження тягової батареї та електродвигуна. Особливу увагу приділяють контролю ізоляції високовольтних ланцюгів, справності з'єднань, герметичності корпусів і стабільності роботи силової електроніки.

Важливою особливістю технічного обслуговування електромобілів є підвищені вимоги до електробезпеки. Роботи з високовольтними компонентами виконуються лише після повного знеструмлення системи та дотримання встановлених процедур безпеки. Обслуговуючий персонал повинен мати відповідну кваліфікацію, допуск до робіт із високою напругою та знання правил роботи з електричними установками.

Характерні роботи з технічного обслуговування електромобілів зосереджені насамперед на контролі стану електричних, електронних і високовольтних компонентів, від справності яких залежить безпека, надійність і ефективність експлуатації транспортного засобу. Центральне місце серед таких робіт посідає діагностика тягової акумуляторної батареї, під час якої оцінюється її залишкова ємність, рівень деградації, баланс елементів та коректність роботи системи керування батареєю. Регулярний контроль цих параметрів дозволяє своєчасно виявляти відхилення та запобігати зниженню запасу ходу або передчасному виходу батареї з ладу.

Важливою складовою технічного обслуговування є перевірка системи охолодження тягової батареї, яка забезпечує підтримання оптимального температурного режиму під час заряджання та руху. Недостатня ефективність охолодження може призводити до перегріву акумулятора, зниження його ресурсу та обмеження потужності силової установки. У межах обслуговування здійснюється контроль рівня та стану охолоджувальної рідини, герметичності контурів і працездатності насосів та теплообмінників.

Окрему увагу приділяють контролю стану високовольтних кабелів, з'єднань і роз'ємів. Під час огляду перевіряється цілісність ізоляції, надійність контактів, відсутність механічних пошкоджень і слідів перегріву або корозії. Справний стан високовольтної мережі є критично важливим з точки зору електробезпеки та стабільної роботи електропривода.

До регламентних робіт також належить перевірка функціонування інвертора та електродвигуна. У процесі діагностики аналізуються параметри перетворення електричної енергії, рівень втрат, температурні режими та відсутність сторонніх шумів або вібрацій. Своєчасне виявлення відхилень у роботі силової електроніки дозволяє запобігти серйозним несправностям і дорогому ремонту.

Сучасні електромобілі значною мірою залежать від програмного забезпечення, тому невід'ємною частиною технічного обслуговування є оновлення програмного забезпечення електронних блоків керування. Такі оновлення можуть покращувати енергоефективність,

стабільність роботи систем, алгоритми рекуперації та заряджання, а також підвищувати рівень безпеки та комфорту експлуатації.

Таким чином, характерні роботи з технічного обслуговування електромобілів мають переважно діагностичний і контрольний характер та спрямовані на забезпечення надійної роботи високовольтних і електронних систем, що принципово відрізняє їх від традиційного обслуговування автомобілів із двигуном внутрішнього згорання.

Обслуговування гальмівної системи електромобіля

Гальмівна система електромобіля поєднує традиційні фрикційні механізми та рекуперативне гальмування, що істотно впливає на характер її зношування та особливості технічного обслуговування. Використання рекуперації дозволяє зменшити навантаження на гальмівні колодки й диски, однак не скасовує необхідності регулярної перевірки та профілактичних робіт.

Особливості роботи гальмівної системи. Електромобілі активно використовують рекуперативне гальмування, під час якого електродвигун переходить у генераторний режим і частина кінетичної енергії повертається до тягової батареї. Унаслідок цього механічні гальма задіюються рідше, що зменшує інтенсивність їх зношування, але водночас може спричинити утворення корозії на робочих поверхнях дисків.

Діагностика та контроль стану. Під час технічного обслуговування обов'язково проводиться огляд гальмівних колодок і дисків незалежно від їхнього візуального зносу. Особлива увага приділяється рівномірності зношування, наявності іржі та сторонніх шумів під час гальмування. Для підтримання ефективності системи іноді рекомендується періодичне інтенсивніше гальмування з метою очищення дисків.

Обслуговування гальмівної рідини. Гальмівна рідина в електромобілях, як і в автомобілях з ДВЗ, є гігроскопічною та з часом втрачає свої властивості. Незалежно від пробігу автомобіля її заміну необхідно виконувати кожні 2–4 роки або відповідно до вимог виробника. Своєчасна заміна рідини забезпечує стабільну роботу гальмівної системи та запобігає зниженню ефективності гальмування.

Взаємодія з іншими системами автомобіля. Під час обслуговування перевіряється узгодженість роботи рекуперативного та гідравлічного гальмування, що впливає на плавність і передбачуваність уповільнення. Додатково оцінюється стан підвіски та кермового управління, оскільки підвищена маса електромобіля створює додаткові навантаження на ці вузли.

Періодичність технічного обслуговування. Планова діагностика гальмівної системи, підвіски та кермового управління зазвичай проводиться кожні 12–20 тис. км пробігу. Регламентні заміни робочих рідин виконуються за календарним принципом, що дозволяє підтримувати стабільну ефективність гальмівної системи протягом усього строку експлуатації електромобіля.

Система охолодження електромобіля

Система охолодження електромобіля є критично важливою для забезпечення надійної, безпечної та довговічної роботи його основних компонентів. На відміну від автомобілів з ДВЗ, електромобілі мають декілька незалежних контурів охолодження, кожен з яких виконує специфічні функції та потребує окремої уваги під час технічного обслуговування.

Призначення та структура системи охолодження. В електромобілях зазвичай застосовуються окремі контури охолодження для тягової акумуляторної батареї, електродвигуна з інвертором та салону автомобіля. Такий підхід дозволяє підтримувати оптимальний температурний режим кожного вузла незалежно від умов експлуатації. Особливо важливим є температурний контроль батареї, оскільки перегрів або переохолодження негативно впливають на її ресурс, ємність і безпеку.

Особливості роботи системи. Система охолодження може працювати як у режимі охолодження, так і у режимі підігріву, залежно від температури навколишнього середовища та режиму руху. Під час інтенсивного навантаження або швидкої зарядки активується примусове охолодження батареї та силової електроніки. У холодну пору року система

забезпечує попередній підігрів акумулятора для підвищення ефективності та зменшення зносу елементів.

Діагностика та контроль стану. Технічне обслуговування системи охолодження передбачає регулярну перевірку рівня та стану охолоджувальної рідини, а також контроль її відповідності вимогам виробника. Особлива увага приділяється діагностиці циркуляційних насосів, клапанів і теплообмінників, від справності яких залежить стабільність теплового режиму. Під час огляду також перевіряється відсутність витоків і загальна герметичність контурів.

Обслуговування охолоджувальної рідини. Охолоджувальна рідина в електромобілях виконує не лише теплову, а й електроізоляційну функцію, тому її якість має особливе значення. Заміна рідини проводиться відповідно до регламенту виробника, зазвичай кожні 4–6 років або через визначений пробіг. Використання невідповідної або забрудненої рідини може призвести до перегріву компонентів і зниження надійності системи.

Взаємодія з іншими системами. Система охолодження тісно пов'язана з роботою системи керування батареєю (BMS), зарядного обладнання та кліматичної установки. Порушення в роботі одного з контурів може впливати на запас ходу, швидкість заряджання та загальну ефективність електромобіля. Саме тому комплексна діагностика є важливою складовою технічного обслуговування.

Періодичність технічного обслуговування. Перевірка системи охолодження входить до складу планового ТО і зазвичай проводиться кожні 12–20 тис. км пробігу. Регламентні заміни охолоджувальної рідини та профілактичні роботи виконуються за календарним принципом, що дозволяє забезпечити стабільну роботу силових компонентів електромобіля протягом усього строку експлуатації.

Високовольтна безпека під час технічного обслуговування електромобілів

Високовольтна безпека є одним із ключових аспектів технічного обслуговування та ремонту електромобілів. На відміну від автомобілів з ДВЗ, електромобілі оснащені високовольтними системами напругою від 400 до 800 В, що створює підвищений ризик ураження електричним струмом. Тому виконання будь-яких робіт потребує суворого дотримання спеціальних правил і процедур безпеки.

Особливості високовольтної системи. До високовольтних компонентів електромобіля належать тяговий акумулятор, інвертор, електродвигун, високовольтні кабелі та роз'єми. Ці елементи об'єднані в єдину систему, яка залишається під напругою навіть після вимкнення запалювання, що вимагає особливої обережності під час обслуговування.

Знеструмлення перед виконанням робіт. Обов'язковою умовою проведення технічного обслуговування є повне знеструмлення високовольтної системи. Це досягається шляхом відключення сервісного роз'єму або виконання процедури безпечного вимкнення відповідно до інструкцій виробника. Після цього необхідно витримати регламентований час для розрядження конденсаторів у силовій електроніці.

Інструменти та засоби індивідуального захисту. Під час робіт із високовольтними елементами застосовуються лише спеціальні діелектричні інструменти, сертифіковані для відповідного рівня напруги. Персонал зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема ізолювальні рукавички, захисне взуття, окуляри та ізоляційні килимки. Це знижує ризик ураження струмом у разі випадкового контакту з елементами під напругою.

Кваліфікація та допуск персоналу. Роботи з високовольтними системами дозволяється виконувати лише персоналу, який має відповідну підготовку та офіційний допуск до робіт з високою напругою. Фахівці проходять спеціальне навчання, атестацію та періодичне підтвердження кваліфікації, що є обов'язковою вимогою сучасних сервісних стандартів.

Значення дотримання правил безпеки. Недотримання вимог високовольтної безпеки може призвести до серйозних травм, пошкодження обладнання або виходу з ладу дорогих компонентів електромобіля. Саме тому правила електробезпеки є невід'ємною частиною регламенту технічного обслуговування і мають виконуватися незалежно від складності робіт.

Періодичність технічного обслуговування електромобілів

Періодичність технічного обслуговування електромобілів має свої особливості, зумовлені спрощеною конструкцією силової установки та відсутністю багатьох вузлів, притаманних автомобілям з двигуном внутрішнього згоряння. У цілому електромобілі потребують меншої кількості регламентних робіт, що позитивно впливає на експлуатаційні витрати та зручність користування.

Електромобілі, як правило, характеризуються рідшим проведенням технічного обслуговування, простішим регламентом робіт та відсутністю частих замін витратних матеріалів, таких як моторна олива, паливні фільтри або свічки запалювання. Це дозволяє скоротити кількість відвідувань сервісного центру порівняно з автомобілями з ДВЗ.

У більшості виробників базове планове технічне обслуговування електромобіля виконується кожні 12–20 тис. км пробігу або один раз на рік. У межах таких інтервалів проводиться огляд ходової частини, гальмівної системи, шин, перевірка рівнів експлуатаційних рідин та загальна діагностика систем автомобіля.

Незважаючи на зменшення механічних робіт, системи тягової батареї, інвертора, електродвигуна та електронних блоків керування потребують регулярної комп'ютерної діагностики. Вона дозволяє:

- контролювати стан акумуляторної батареї;
- виявляти помилки та відхилення в роботі електронних систем;
- своєчасно оновлювати програмне забезпечення;
- запобігати серйозним несправностям на ранніх етапах.

Періодичність технічного обслуговування може коригуватися залежно від умов експлуатації. Інтенсивна міська їзда, часті швидкі зарядки, робота в умовах екстремальних температур або підвищених навантажень вимагають більш уважного контролю стану батареї, систем охолодження та електроніки.

Отже, електромобілі характеризуються зниженою потребою в технічному обслуговуванні порівняно з автомобілями з ДВЗ, однак регулярність перевірок залишається важливою умовою безпечної та надійної експлуатації. Особливу увагу при цьому приділяють діагностиці батареї та електронних систем, які визначають довговічність і ефективність електромобіля.

ДО17 Технічне обслуговування гібридних автомобілів

Гібридні автомобілі поєднують у своїй конструкції двигун внутрішнього згоряння та електричну силову установку, що забезпечує підвищену паливну економічність і зменшення шкідливих викидів. Така комбінована схема зумовлює специфічний підхід до технічного обслуговування, яке включає як традиційні регламентні роботи для автомобілів з ДВЗ, так і обслуговування електричних, електронних та високовольтних систем. Ефективне технічне обслуговування гібридних автомобілів є необхідною умовою їх надійної, економічної та безпечної експлуатації.

Технічне обслуговування гібридних автомобілів має низку характерних особливостей, пов'язаних із поєднанням двох різних силових систем. Наявність двигуна внутрішнього згоряння та електроприводу вимагає комплексного підходу до діагностики й регламентних робіт.

До основних особливостей ТО гібридних автомобілів належать:

- наявність двох силових джерел енергії (ДВЗ і електродвигуна);
- складна система керування енергопотокami між двигунами, батареєю та трансмісією;
- підвищені вимоги до електробезпеки під час виконання робіт;
- зменшене навантаження на двигун внутрішнього згоряння у міських режимах руху;
- збільшений ресурс окремих механічних вузлів за рахунок використання електроприводу.

Технічне обслуговування двигуна внутрішнього згоряння

Двигун внутрішнього згоряння у гібридних автомобілях працює в специфічному режимі, поєднуючись з електричною силовою установкою. У міських умовах він часто вмикається та вимикається, а частину навантажень бере на себе електродвигун. Це зменшує загальний знос, проте створює нерівномірний режим роботи, що необхідно враховувати під час технічного обслуговування.

Обслуговування двигуна внутрішнього згоряння в гібридних автомобілях включає:

- заміну моторної оливи та масляного фільтра відповідно до регламенту виробника;
- перевірку та за потреби заміну повітряного фільтра;
- контроль стану та герметичності системи охолодження двигуна;
- діагностику системи запалювання та паливного впорскування;
- перевірку системи випуску відпрацьованих газів і елементів нейтралізації.

Особливістю гібридних автомобілів є те, що двигун внутрішнього згоряння може тривалий час працювати в режимі неповного прогріву або коротких робочих циклів. Це може призводити до прискореного старіння моторної оливи, накопичення конденсату та продуктів згоряння навіть за відносно невеликого пробігу. Тому під час технічного обслуговування доцільно орієнтуватися не лише на пробіг, а й на календарні інтервали заміни оливи та результати діагностики її стану.

Обслуговування електричної частини

Електрична частина гібридного автомобіля є ключовим елементом силової установки та потребує регулярного контролю стану основних компонентів. Хоча більшість електричних вузлів мають високий ресурс і не вимагають частого втручання, їхня справність безпосередньо впливає на безпеку, ефективність і довговічність транспортного засобу.

Тяговий електродвигун. Тяговий електродвигун гібридного автомобіля характеризується високою надійністю та мінімальною кількістю рухомих частин, що значно зменшує обсяг регламентних робіт. Технічне обслуговування електродвигуна, як правило, обмежується:

- діагностикою стану підшипників та відсутності сторонніх шумів;
- перевіркою надійності механічних кріплень і з'єднань;
- контролем температурних режимів під час роботи в різних навантажувальних умовах.

Регулярна діагностика дозволяє своєчасно виявити порушення у роботі електродвигуна та запобігти серйозним пошкодженням.

Акумуляторна батарея. Акумуляторна батарея є одним із найдорожчих і найважливіших компонентів гібридного автомобіля. Її технічне обслуговування спрямоване на підтримання стабільних електричних параметрів і продовження ресурсу експлуатації. Основні роботи включають:

- перевірку рівня заряду та балансу окремих осередків;
- контроль працездатності системи охолодження батареї;
- комп'ютерну діагностику з використанням системи керування батареєю (BMS);
- оцінку залишкового ресурсу та ступеня деградації акумуляторних елементів.

Своєчасний контроль стану батареї дозволяє уникнути раптового зниження запасу ходу та збоїв у роботі гібридної силової установки.

Інвертор і силова електроніка. Інвертор та силова електроніка відповідають за перетворення електричної енергії та керування роботою електродвигуна. Їхнє обслуговування має профілактичний характер і передбачає:

- перевірку стану електричних контактів і з'єднань;
- контроль температурних режимів роботи та ефективності охолодження;
- діагностику електронних модулів і програмного забезпечення.

Належний стан силової електроніки забезпечує стабільну роботу електропривода, високу енергоефективність і безпечну експлуатацію гібридного автомобіля

Гальмівна система

Гальмівна система гібридних автомобілів поєднує традиційні механічні елементи з електронно керованим рекуперативним гальмуванням. Така комбінована схема підвищує

енергоефективність транспортного засобу, але водночас потребує комплексного підходу до технічного обслуговування.

У гібридних автомобілях значна частина уповільнення здійснюється за рахунок рекуперації, під час якої електродвигун працює в генераторному режимі та заряджає акумуляторну батарею. Це забезпечує:

- зменшення зношування гальмівних колодок і дисків;
- подовження міжсервісних інтервалів механічних елементів;
- зниження теплового навантаження на гальмівні механізми.

Разом із тим тривале використання рекуперації може призводити до часткового «закисання» гальмівних механізмів, що потребує регулярного контролю їх працездатності.

ТО гальмівної системи гібридного автомобіля включає:

- перевірку стану гальмівних колодок і дисків;
- контроль рівномірності зношування елементів;
- огляд супортів і напрямних на предмет корозії та заїдання;
- заміну гальмівної рідини згідно з регламентом виробника.

Незважаючи на менший знос, механічні елементи гальм потребують періодичного активного використання для очищення робочих поверхонь від іржі та відкладень.

Оскільки рекуперативне гальмування тісно пов'язане з електронними системами керування, обов'язковою складовою ТО є:

- діагностика електронного блоку керування гальмами;
- перевірка взаємодії між гальмівною системою та електроприводом;
- контроль датчиків швидкості коліс і педалі гальма;
- перевірка коректності розподілу гальмівних зусиль між рекуперативним та механічним гальмуванням.

Комплексне обслуговування гальмівної системи забезпечує ефективне гальмування, стабільність руху та безпеку експлуатації гібридного автомобіля.

Система охолодження

Система охолодження гібридного автомобіля є багатоконтурною та забезпечує стабільну роботу як двигуна внутрішнього згоряння, так і електричних компонентів. Різні вузли мають власні температурні режими, тому застосування окремих контурів охолодження є необхідною умовою надійної та безпечної експлуатації.

У більшості гібридних автомобілів передбачено декілька незалежних контурів охолодження:

- контур охолодження двигуна внутрішнього згоряння, який працює за традиційною схемою;
- контур охолодження електродвигуна та інвертора, що забезпечує відведення тепла від силової електроніки;
- контур охолодження акумуляторної батареї, призначений для підтримання оптимальної температури елементів живлення.

Кожен із контурів має власні насоси, теплообмінники та датчики температури.

Технічне обслуговування системи охолодження гібридного автомобіля включає:

- перевірку рівня та стану охолоджувальної рідини в кожному контурі;
- контроль працездатності циркуляційних насосів;
- огляд радіаторів і теплообмінників на наявність забруднень;
- перевірку герметичності патрубків, з'єднань і корпусів.

Особливу увагу приділяють контуру охолодження батареї, оскільки перегрів або переохолодження акумулятора негативно впливає на його ресурс і ефективність.

Своєчасне технічне обслуговування системи охолодження дозволяє:

- запобігти перегріву силових агрегатів;
- забезпечити стабільну роботу електронних компонентів;
- подовжити ресурс акумуляторної батареї та електродвигуна;
- знизити ризик аварійних режимів і відмов систем.

ДО18 Обслуговування акумуляторних батарей

Акумуляторна батарея є ключовим елементом гібридних та електричних автомобілів, від технічного стану якого залежать запас ходу, надійність, безпека та економічність експлуатації транспортного засобу. Саме батарея визначає ефективність роботи електричної силової установки, тому її обслуговування має системний і регламентований характер. Правильна експлуатація та своєчасне технічне обслуговування спрямовані на збереження ємності, продовження ресурсу та попередження небезпечних відмов.

Акумуляторні батареї в сучасних гібридних і електричних автомобілях, як правило, виконані за літій-іонною технологією та працюють під високою напругою. Вони оснащуються складною системою керування батареєю (BMS), яка контролює напругу, температуру, струми заряду і розряду, а також баланс елементів. Тому обслуговування батареї значною мірою має діагностичний характер і здійснюється із застосуванням спеціалізованого обладнання.

Технічне обслуговування акумуляторних батарей передбачає регулярну комп'ютерну діагностику стану батареї, зчитування даних BMS та оцінку залишкової ємності. Під час діагностики контролюється рівень заряду, баланс осередків, температурні показники та наявність помилок у роботі системи. Це дозволяє виявити початкові ознаки деградації батареї ще до появи відчутних проблем у роботі автомобіля.

Важливою складовою обслуговування є контроль системи охолодження акумуляторної батареї. Порушення температурного режиму є однією з основних причин прискореного зносу елементів. У процесі ТО перевіряється рівень та стан охолоджувальної рідини (або ефективність повітряного охолодження), працездатність вентиляторів, насосів і теплообмінників, а також чистота повітряних каналів.

Окрему увагу приділяють перевірці високовольтних з'єднань батареї. Контролюється стан контактів, ізоляції, кабелів та корпусу батарейного модуля. Будь-які пошкодження або порушення герметичності можуть призвести до зниження безпеки експлуатації та потребують негайного втручання фахівців.

Експлуатаційне обслуговування акумуляторних батарей також включає дотримання рекомендованих режимів заряджання. Часте використання швидкої зарядки, глибокі розряди та тривале перебування батареї у стані повного заряду або повного розряду негативно впливають на її ресурс. Тому під час ТО проводиться аналіз умов експлуатації та, за потреби, надаються рекомендації щодо оптимального режиму використання батареї.

Своєчасне і кваліфіковане обслуговування акумуляторних батарей дозволяє забезпечити стабільну роботу електричної та гібридної силової установки, знизити ризик аварійних ситуацій, подовжити строк служби батареї та зберегти високі експлуатаційні характеристики автомобіля протягом усього життєвого циклу.

Діагностика акумуляторної батареї

Діагностика акумуляторної батареї є ключовим етапом технічного обслуговування гібридних та електричних автомобілів. Вона дозволяє своєчасно виявляти відхилення в роботі батареї, оцінювати її фактичний технічний стан та прогнозувати залишковий ресурс. Основним інструментом діагностики є система керування батареєю (BMS), яка здійснює безперервний контроль усіх критично важливих параметрів.

1. Контроль параметрів через BMS

Система керування батареєю (Battery Management System) забезпечує постійний моніторинг роботи акумуляторного блоку та виконує захисні й керувальні функції. У процесі експлуатації та під час технічного обслуговування BMS забезпечує:

- моніторинг напруги окремих осередків і батареї в цілому, що дозволяє виявляти дисбаланс та ослаблені елементи;
- контроль струмів заряду та розряду для запобігання перевантаженню й глибокому розряду;
- вимірювання температури осередків і модулів з метою недопущення перегріву або переохолодження;

- балансування комірок, яке вирівнює рівень заряду між елементами та сприяє рівномірному зносу батареї.

Інформація, що збирається BMS, використовується під час комп'ютерної діагностики для оцінки стану здоров'я батареї (SOH), визначення залишкової ємності та виявлення потенційних несправностей. Завдяки цьому забезпечується безпечна експлуатація акумуляторної батареї та своєчасне проведення профілактичних або ремонтних робіт.

2. Оцінка стану батареї

Оцінка стану акумуляторної батареї дозволяє визначити її працездатність, ступінь зносу та можливість подальшої безпечної експлуатації. Для цього використовуються кількісні та якісні показники, які відображають реальний стан енергетичного накопичувача.

Основними показниками оцінки стану батареї є:

- SOC (State of Charge) — рівень поточного заряду батареї, що характеризує кількість доступної енергії в певний момент часу та використовується для контролю режимів заряджання і розряджання;
- SOH (State of Health) — показник «стану здоров'я» батареї, який відображає ступінь деградації акумулятора порівняно з його номінальними параметрами;
- залишкова ємність — фактична ємність батареї, що визначає можливий запас ходу автомобіля та зменшується в процесі тривалої експлуатації;
- внутрішній опір — параметр, що впливає на втрати енергії та теплові режими роботи батареї; його зростання свідчить про старіння або пошкодження осередків.

Комплексний аналіз цих показників дозволяє своєчасно виявляти ознаки деградації акумуляторної батареї, оптимізувати режими її експлуатації та приймати обґрунтовані рішення щодо подальшого обслуговування або заміни.

Технічне обслуговування системи охолодження батареї включає такі основні операції:

- перевірку рівня та стану охолоджувальної рідини;
- очищення вентиляційних каналів і повітропроводів;
- діагностику роботи насосів і вентиляторів;
- перевірку ефективності теплообмінників та їх герметичності.

Порушення роботи системи охолодження призводить до перегріву або переохолодження батареї, що суттєво прискорює деградацію акумуляторних осередків, знижує запас ходу та може спричинити вихід батареї з ладу.

Для подовження ресурсу батареї рекомендується:

- уникати частих глибоких розрядів;
- не заряджати батарею до 100% без реальної потреби;
- обмежувати використання швидкого заряджання;
- дотримуватися допустимих температурних режимів під час заряджання;
- використовувати лише сертифіковані та рекомендовані виробником зарядні пристрої.

Дотримання цих правил сприяє стабільній роботі батареї та зменшує ризик передчасного зниження її ємності.

Зменшення зносу батареї досягається шляхом:

- підтримання оптимального рівня заряду в межах 20–80%;
- регулярного проведення комп'ютерної діагностики;
- своєчасного оновлення програмного забезпечення системи керування батареєю (BMS);
- уникання тривалого зберігання автомобіля при екстремально низьких або високих температурах.

Акумуляторні батареї електромобілів і гібридів містять високовольтні елементи та електроліти, тому роботи з ними вимагають суворого дотримання правил безпеки. Недотримання заходів безпеки може призвести до ураження електричним струмом, опіків або пошкодження батареї.

Основні правила безпеки під час обслуговування батарей:

- повне знеструмлення високовольтної системи перед будь-яким втручанням;

- використання діелектричних рукавиць, інструментів та засобів індивідуального захисту;
- заборона розбирання батареї без наявності спеціального допуску та кваліфікації;
- уникання контакту з електролітом та хімічними компонентами батареї;
- обов'язкове дотримання інструкцій та регламентів виробника.

Дотримання цих правил гарантує безпечне виконання технічного обслуговування та знижує ризики аварійних ситуацій.

Акумуляторні батареї після завершення ресурсу не можна утилізувати разом із побутовими відходами через їх хімічну активність та наявність токсичних компонентів. Для безпечного поводження застосовуються спеціалізовані методи утилізації та повторного використання.

Основні аспекти:

- батарея підлягає спеціальній утилізації у сертифікованих центрах;
- можлива повторна експлуатація у стаціонарних системах зберігання енергії (наприклад, сонячні чи вітрові генератори);
- заборонено викидати батареї разом із побутовими відходами або спалювати;
- при заміні батареї обов'язково дотримуватися процедур безпечного транспортування та встановлення.

Акумуляторна батарея є ключовим елементом електричних та гібридних автомобілів. Від її технічного стану залежать запас ходу, надійність та безпека транспортного засобу. Протягом експлуатації батарея може піддаватися різним навантаженням, впливу температури та механічних факторів, що може призвести до зниження її ефективності або появи несправностей.

Основними проблемами, які виникають у батареях, є зниження ємності, підвищений внутрішній опір, нерівномірний заряд осередків, перегрів, коротке замикання, механічні пошкодження корпусу, втрата герметичності системи охолодження та некоректна робота системи управління (BMS).

Для своєчасного виявлення несправностей застосовуються різні методи діагностики, зокрема: контроль напруги та струмів через BMS, вимір залишкової ємності, термографія, перевірка рівня та стану охолоджувальної рідини, візуальний огляд корпусу та теплообмінників.

Причинами несправностей можуть бути природне старіння комірок, часті глибокі розряди, підвищені навантаження, перегрів, механічні пошкодження, корозія контактів, несправності системи охолодження або збої програмного забезпечення BMS.

Усунення проблем батареї включає: балансування осередків, заміну деградованих або пошкоджених модулів, очищення та перевірку контактів, ремонт або заміну елементів системи охолодження, оновлення програмного забезпечення BMS та заміну корпусу або герметичних компонентів за потреби.

Дотримання правил експлуатації, регулярна діагностика та своєчасне обслуговування дозволяють подовжити ресурс батареї, забезпечити стабільну роботу енергетичної системи автомобіля та підвищити безпеку під час експлуатації.

ДО19 Діагностика та усунення несправностей електропривода

Електропривод є ключовим силовим елементом електричних та гібридних автомобілів, який забезпечує перетворення електричної енергії на механічну. Надійність роботи електропривода впливає на динаміку автомобіля, ефективність енергоспоживання та безпеку руху. Складність електричних і електронних компонентів потребує спеціалізованого обладнання та суворого дотримання правил електробезпеки.

Найпоширеніші несправності електропривода

- зниження потужності або повна відсутність тяги;
- перегрів електродвигуна або інвертора;
- сторонні шуми, вібрації або нестандартні звуки під час роботи;

- нестабільна робота під навантаженням;
- поява попереджувальних повідомлень на панелі приладів;
- аварійне вимкнення силової установки.

Основні методи діагностики

- візуальний огляд та перевірка кріплень – стан механічної частини, пошкодження кабелів;
- перевірка температурних режимів – контроль нагріву електродвигуна, інвертора та редуктора;
- контроль електричних параметрів – напруга, струм, сигнали від датчиків;
- комп'ютерна діагностика – зчитування помилок і стану системи через спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ)
- тестування під навантаженням – оцінка стабільності роботи електропривода при різних режимах руху

Профілактичні заходи

- регулярний огляд високовольтних кабелів та роз'ємів;
- контроль системи охолодження електродвигуна та інвертора;
- оновлення програмного забезпечення системи керування електроприводом;
- вчасне усунення виявлених несправностей для запобігання серйозним пошкодженням.

Етапи діагностики електропривода

1. Первинна перевірка

- ознайомлення з повідомленнями бортової системи
- перевірка рівня заряду батареї
- оцінка умов виникнення несправності
- зовнішній огляд компонентів

2. Комп'ютерна діагностика

- зчитування кодів помилок
- аналіз параметрів роботи електродвигуна
- перевірка роботи інвертора
- діагностика датчиків та електронних блоків

3. Перевірка електричних ланцюгів

- контроль цілісності високовольтних кабелів
- вимірювання опору ізоляції
- перевірка контактів і роз'ємів
- контроль заземлення корпусу

4. Механічна діагностика

- стан підшипників електродвигуна
- зношування редуктора
- наявність люфтів
- герметичність корпусів

Методи усунення несправностей

1. Усунення програмних збоїв

- скидання помилок
- оновлення програмного забезпечення
- калібрування систем керування

2. Усунення електричних несправностей

- заміна пошкоджених кабелів
- відновлення контактів
- заміна датчиків
- ремонт або заміна інвертора

3. Усунення механічних несправностей

- заміна підшипників
- ремонт або заміна редуктора
- усунення вібрацій

Типові коди помилок електропривода та їх інтерпретація

1. Коди, пов'язані з електродвигуном

Код помилки	Опис несправності	Можлива причина	Рекомендовані дії
P0A90	Зниження ефективності електродвигуна	Перегрів, зношення підшипників, перевантаження	Перевірка температури, механічний огляд
P0A92	Відсутність обертання електродвигуна	Пошкодження обмоток, обрив ланцюга	Діагностика двигуна, перевірка ізоляції
P0A7A	Перегрів електродвигуна	Несправність охолодження	Перевірка системи охолодження

2. Коди інвертора та силової електроніки

Код помилки	Опис несправності	Можлива причина	Рекомендовані дії
P0A94	Несправність інвертора	Перегрів, коротке замикання, дефект силових модулів	Перевірка інвертора, охолодження
P0A1F	Перегрів інвертора	Забруднення радіатора, несправність насоса	Очищення, перевірка циркуляції
P0A0F	Відключення силової установки	Аварійний режим інвертора	Комп'ютерна діагностика

3. Коди, пов'язані з високовольтною мережею

Код помилки	Опис несправності	Можлива причина	Рекомендовані дії
P0AA6	Зниження опору ізоляції	Пошкодження кабелю, волога	Перевірка ізоляції
P0A0A	Розмикання високовольтного кола	Несправність контактора	Перевірка HV-реле
P1A10	Несправність високовольтного з'єднання	Поганий контакт	Огляд роз'ємів

4. Коди датчиків електропривода

Код помилки	Опис несправності	Можлива причина	Рекомендовані дії
P0A41	Несправність датчика положення ротора	Збій датчика, обрив дроту	Перевірка датчика
P0A3E	Несправність датчика температури двигуна	Коротке замикання або обрив	Заміна датчика
P0A45	Помилка датчика струму	Некоректні вимірювання	Діагностика інвертора

5. Коди керування електроприводом

Код помилки	Опис несправності	Можлива причина	Рекомендовані дії
P0A1A	Помилка блоку керування електроприводом	Програмний збій	Оновлення ПЗ
P0606	Внутрішня помилка ECU	Збій мікропроцесора	Перепрошивка або заміна
P0A9C	Невідповідність команд керування	Збій зв'язку між модулями	Перевірка CAN-шини

ДО20 Програмне оновлення та калібрування систем електромобіля

Сучасні електричні та гібридні автомобілі значною мірою керуються електронними блоками управління (ECU) і складними програмними алгоритмами. Тому регулярне програмне оновлення та калібрування систем є критично важливим для підтримки їх оптимальної роботи, безпеки та ефективності.

Програмне забезпечення електромобіля відповідає за:

- керування електродвигуном та інвертором;
- балансування батареї;
- роботу систем допомоги водію (ADAS);
- моніторинг стану силової установки та охолодження;
- обробку даних з датчиків.

Оновлення ПЗ дозволяє:

- усувати виявлені помилки та баги;
- покращувати енергоспоживання та запас ходу;
- оптимізувати роботу електропривода та батареї;
- додавати нові функції та покращувати безпеку.

Методики оновлення програмного забезпечення

1. *OTA (Over-the-Air)* – бездротове оновлення через Інтернет:

- не потребує візиту в сервіс;
- швидко впроваджуються виправлення та нові функції;
- дані про стан систем збираються та аналізуються виробником.

2. *Сервісне оновлення через дилера або майстерню:*

- підключення до автомобіля через діагностичний роз'єм;
- завантаження та запис нового програмного забезпечення;
- використовується у випадках критичних оновлень або локальних проблем.

Калібрування систем електромобіля

Калібрування необхідне для підтримки точності роботи компонентів:

- батарея та BMS: перевірка балансування осередків, корекція параметрів зарядки.
- електродвигун та інвертор: калібрування фаз, контроль температурних датчиків.
- системи ADAS: калібрування камер, радарів та ультразвукових сенсорів.
- гальмівна система та рекуперація: налаштування сили гальмівного моменту та режимів рекуперації.

Етапи програмного обслуговування

1. Підготовка:

- забезпечення стабільного джерела живлення;
- перевірка рівня заряду батареї;
- створення резервної копії параметрів ECU.

2. Завантаження оновлення або калібрування:
 - через OTA або сервісний інтерфейс;
 - контроль процесу запису та підтвердження успішного завершення.
3. Тестування:
 - перевірка роботи електропривода, батареї та допоміжних систем;
 - перевірка коректності параметрів після оновлення.
4. Завершення:
 - видалення тимчасових файлів;
 - оновлення журналу обслуговування;
 - повторне тестування за потреби.

Програмне оновлення та калібрування систем електромобіля є критично важливими для підтримки високої надійності, енергоефективності та безпеки транспортного засобу. Вони дозволяють не лише усунути помилки, а й впроваджувати нові функції та оптимізувати взаємодію між всіма компонентами електромобіля.

Додаток Б

АНКЕТА ДЛЯ ВИКЛАДАЧІВ

Оцінювання навчального посібника
«Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»
Анкетування анонімне.

1. Змістові аспекти

1.1. Оцініть відповідність змісту вимогам стандартів професійної освіти:

Висока Достатня Часткова Низька

1.2. Наскільки актуальним є поданий матеріал для сучасної автомобільної галузі?

Дуже актуальний Актуальний Частково Неактуальний

1.3. Повнота розкриття тем:

Повна Достатня Часткова Недостатня

1.4. Рівень науковості та достовірності:

Високий Достатній Потребує уточнення

1.5. Практична спрямованість матеріалу:

Висока Достатня Недостатня

1.6. Чи відповідає складність тексту рівню підготовленості учнів ЗП(ПТ)О?

Так Частково Матеріал занадто складний Матеріал занадто спрощений

2. Структура та методичний апарат

2.1. Чіткість і логічність структури посібника:

Висока Достатня Порушена

2.2. Послідовність викладу:

Висока Достатня Частково порушена

2.3. Якість питань для самоконтролю:

Висока Достатня Недостатня

2.4. Якість тестових завдань:

Висока Достатня Недостатня

2.5. Чи сприяє методичний апарат формуванню компетентностей?

Так Частково Ні

3. Ілюстративний матеріал

3.1. Відповідність ілюстрацій змісту:

Висока Достатня Недостатня

3.2. Якість схем, креслень і графічного матеріалу:

Висока Достатня Потребує покращення

3.3. Однорідність стилю подачі ілюстрацій:

Так Частково Ні

4. Мовно-оформлювальні аспекти

4.1. Якість мовного викладу:

Висока Достатня Потребує покращення

4.2. Коректність термінології:

Висока Достатня Недостатня

4.3. Якість оформлення списку джерел (ДСТУ 8302:2015):

Відповідає Частково відповідає Потребує доопрацювання

5. Загальна ефективність

5.1. Чи сприяє посібник формуванню професійних компетентностей?

Так Частково Ні

5.2. Чи рекомендували б Ви посібник до використання в освітньому процесі?

Так За умови доопрацювання Ні

5.3. Ваші пропозиції:

Додаток В

АНКЕТА ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Оцінювання навчального посібника

«Будова та експлуатація гібридних та електричних автомобілів»

1. Зміст та зрозумілість матеріалу

1.1. Наскільки зрозумілим є виклад матеріалу?

Дуже зрозумілий Зрозумілий Частково зрозумілий Складний

1.2. Наскільки цікавим був матеріал?

Дуже цікавий Цікавий Частково Нецікавий

1.3. Повнота інформації про гібридні та електричні авто:

Достатня Частково достатня Недостатня

1.4. Чи відповідає матеріал Вашому рівню підготовки?

Відповідає Частково Занадто складний Занадто простий

2. Структура та подача

2.1. Наскільки легко орієнтуватися в структурі посібника?

Легко Достатньо легко Важко

2.2. Чи логічно викладено матеріал?

Так Частково Ні

3. Ілюстрації та наочність

3.1. Чи допомагають ілюстрації краще зрозуміти матеріал?

Так, дуже Так, частково Ні

3.2. Якість схем і графіків:

Висока Достатня Низька

4. Питання для самоконтролю та тестові завдання

4.1. Чи зрозумілі Вам питання для самоконтролю?

Так Частково Ні

4.2. Чи допомогли вони перевірити свої знання?

Так Частково Ні

4.3. Якість тестових завдань:

Висока Достатня Низька

5. Загальна оцінка

5.1. Як Ви оцінюєте посібник у цілому?

Відмінно Добре Задовільно Погано

5.2. Що варто покращити?
