

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ
ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ КОМПОНУВАЛЬНИХ
СХЕМ**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва)

Микола ДУБРОВСЬКИЙ
(прізвище ім'я та по батькові)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Степан ХІМКА
(наук. ст., вчене звання, прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

УДК 629.113.066.

РЕФЕРАТ

Дубровський Микола Богданович «Вибір оптимальної системи живлення електромобілів на основі аналізу їх компоновальних схем». – Кваліфікаційна робота. Кафедра автомобілів та тракторів. - Дубляни, -Львівський НУВМБ, 2025. 55 с. текст. 5 част. 41 рис., 4 табл., бібл. 22.

У дипломній роботі розглянуто питання вибору оптимальної системи живлення електромобілів на основі аналізу їх компоновальних схем. Проаналізовано склад і принцип роботи систем живлення електромобілів, основні варіанти розміщення акумуляторних батарей та їх вплив на енергетичні, експлуатаційні й безпекові характеристики транспортного засобу. Виконано порівняльний аналіз систем живлення з використанням кількісних і рейтингових показників, таблиць і діаграм, що дозволило обґрунтувати доцільність вибору оптимального рішення. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та економічної ефективності обраної системи живлення. За результатами роботи встановлено, що система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова є найбільш ефективною та доцільною для сучасних електромобілів.

Ключові слова: електромобіль, система живлення, акумуляторна батарея, компоновальна схема, запас ходу, енергоефективність, безпека, економічна ефективність

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП	7
 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	 9
1.1 Стан і тенденції розвитку електромобілів у світі та в Україні.....	9
1.2 Роль системи живлення в конструкції електромобіля.....	11
1.3 Обґрунтування актуальності вибору оптимальної системи живлення.....	14
 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТА КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	 17
2.1 Основні елементи системи живлення електромобіля.....	17
2.2 Компонувальні схеми розміщення акумуляторних батарей.....	22
2.3 Переваги та недоліки різних компонентів схем систем живлення.....	28
 3 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	 31
3.1 Критерії оцінювання систем живлення електромобілів.....	31
3.2 Порівняльний аналіз систем живлення за основними показниками.....	33
3.3 Обґрунтування вибору оптимальної системи живлення.....	37
 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	 42
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі з системами живлення електромобілів.....	42

4.2 Вимоги безпеки при обслуговуванні та ремонті систем живлення електромобілів.....	44
4.3 Пожежна безпека та дії персоналу в аварійних ситуаціях.....	45
 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ.....	47
5.1 Витрати на створення та експлуатацію системи живлення.....	47
5.2 Економічна доцільність вибору оптимальної системи живлення.....	48
 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується активним впровадженням електромобілів, що зумовлено зростанням вимог до екологічної безпеки, енергоефективності та зменшення залежності від традиційних видів палива. Вичерпність нафтових ресурсів, посилення екологічних норм і підвищення вартості пального стимулюють виробників і споживачів переходити на електричний транспорт. У зв'язку з цим електромобілі поступово займають важливе місце у транспортних системах багатьох країн світу, зокрема й України.

Одним із ключових елементів електромобіля є система живлення, яка визначає його технічні, експлуатаційні та економічні характеристики. Саме система живлення забезпечує накопичення, перетворення та подачу електричної енергії до тягового електродвигуна і допоміжних споживачів. Від її параметрів значною мірою залежать запас ходу електромобіля, його маса, динамічні показники, рівень безпеки, а також вартість виробництва та експлуатації.

На сучасному етапі розвитку електромобілів існує декілька варіантів побудови систем живлення, які відрізняються типом акумуляторних батарей, способом їх розміщення в конструкції автомобіля, складом силової електроніки та систем керування. Різні компоновальні схеми мають свої переваги та недоліки, що проявляються в умовах реальної експлуатації. Наприклад, розміщення акумуляторної батареї в підлозі кузова позитивно впливає на стійкість автомобіля, але ускладнює конструкцію та підвищує вимоги до захисту батареї. Інші схеми можуть бути простішими з конструктивної точки зору, але поступатися за показниками безпеки або енергоефективності.

У зв'язку з цим актуальним є питання вибору оптимальної системи живлення електромобілів на основі аналізу їх компоновальних схем. Такий вибір повинен базуватися на порівнянні основних технічних і експлуатаційних

показників, з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, надійності та безпеки. Важливо також враховувати економічні аспекти, оскільки вартість системи живлення суттєво впливає на кінцеву ціну електромобіля.

Актуальність даної дипломної роботи також зумовлена тим, що в Україні електромобільний транспорт перебуває на стадії активного розвитку. Збільшується кількість електромобілів на дорогах загального користування, розширюється мережа зарядних станцій, а також зростає інтерес до технічного обслуговування та модернізації таких транспортних засобів. Це потребує глибшого аналізу конструктивних рішень, зокрема систем живлення, з позиції інженерного підходу.

Метою дипломної роботи є вибір оптимальної системи живлення електромобілів на основі аналізу їх компоновальних схем. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно проаналізувати сучасні системи живлення електромобілів, розглянути основні варіанти компоновання акумуляторних батарей, визначити критерії оцінювання ефективності систем живлення та на їх основі обґрунтувати оптимальний варіант.

Об'єктом дослідження є електромобілі як технічні транспортні засоби. Предметом дослідження є системи живлення електромобілів та їх компоновальні схеми.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для навчальних цілей, а також при попередньому інженерному аналізі систем живлення електромобілів. Матеріали роботи можуть бути корисними для студентів автомобільних спеціальностей, а також для фахівців, які цікавляться питаннями конструкції та експлуатації електричного транспорту. [2, 3].

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1 Стан і тенденції розвитку електромобілів у світі та в Україні

Електромобільний транспорт упродовж останніх років демонструє стабільне зростання у світі та поступово займає значну частку ринку легкових автомобілів. Основними чинниками такого розвитку є посилення екологічних вимог до транспортних засобів, необхідність зменшення викидів парникових газів, а також удосконалення технологій зберігання та використання електричної енергії. Провідні країни світу розглядають електромобілі як один із ключових елементів переходу до сталої транспортної системи.

Світовий ринок електромобілів активно розвивається завдяки державним програмам підтримки, інвестиціям у наукові дослідження та зростанню попиту з боку споживачів. Автовиробники постійно розширюють модельний ряд електромобілів, удосконалюють акумуляторні батареї, зменшують їх масу та підвищують енергетичну щільність. Це дозволяє збільшувати запас ходу електромобілів і наближати їх за експлуатаційними характеристиками до автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння.

Однією з основних світових тенденцій є перехід від експериментальних і малосерійних електромобілів до масового виробництва. Якщо на початкових етапах розвитку електротранспорту електромобілі використовувалися переважно в міських умовах і мали обмежений запас ходу, то сучасні моделі здатні долати значні відстані без підзарядки. Це стало можливим завдяки розвитку літій-іонних акумуляторних батарей і вдосконаленню систем керування енергоспоживанням.

Для наочності загальних тенденцій розвитку електромобільного транспорту можна використати узагальнену таблицю.

В Україні електромобільний транспорт почав активно розвиватися пізніше, ніж у країнах Західної Європи та Північної Америки. Проте за останні

роки спостерігається стійке зростання кількості електромобілів на дорогах загального користування. Основними причинами цього є зниження вартості вживаних електромобілів, пільгові умови їх розмитнення, а також поступове розширення мережі зарядних станцій.

Таблиця 1.1 – Основні тенденції розвитку електромобілів у світі

Показник	Початковий етап розвитку	Сучасний етап
Запас ходу, км	100–150	400–600
Тип акумуляторів	NiMH, ранні Li-ion	Літій-іонні, LFP
Частка на ринку	Низька	Постійно зростає
Рівень державної підтримки	Обмежений	Високий

Український ринок електромобілів характеризується переважанням імпортованих моделей, зокрема вживаних автомобілів з Європи та США. Найбільш поширеними є легкові електромобілі, які використовуються для щоденних поїздок у міських і приміських умовах. При цьому особлива увага приділяється таким показникам, як запас ходу, надійність системи живлення та вартість експлуатації.

Важливою тенденцією розвитку електромобілів в Україні є зростання інтересу до технічних аспектів їх експлуатації та обслуговування. Це стосується насамперед системи живлення, яка є найбільш складним і дорогим елементом електромобіля. Умови експлуатації, кліматичні фактори та якість дорожньої інфраструктури безпосередньо впливають на ефективність роботи акумуляторних батарей і потребують обґрунтованого підходу до вибору їх компонування.

Таким чином, розвиток електромобілів у світі та в Україні характеризується стабільним зростанням, технічним удосконаленням і підвищенням ролі системи живлення в загальній конструкції транспортного засобу. Це підтверджує доцільність подальшого аналізу систем живлення

електромобілів та обґрунтування вибору їх оптимального компонування, що і є предметом подальших розділів даної дипломної роботи.

1.2 Роль системи живлення в конструкції електромобіля

Система живлення є одним з основних функціональних елементів електромобіля, оскільки саме вона забезпечує накопичення, зберігання та передачу електричної енергії до тягового електродвигуна і допоміжних систем. На відміну від автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, де джерелом енергії є паливо, в електромобілях ключову роль відіграє акумуляторна батарея та пов'язані з нею елементи силової електроніки. Від конструктивних особливостей системи живлення залежить не лише працездатність електромобіля, а й його загальна ефективність.

До складу системи живлення електромобіля входять акумуляторна батарея, система керування батареєю, силові перетворювачі, зарядний пристрій та високовольтні кабельні з'єднання. Усі ці елементи повинні працювати узгоджено та забезпечувати стабільну подачу електричної енергії за різних режимів руху. Порушення роботи хоча б одного з елементів системи живлення призводить до зниження потужності, зменшення запасу ходу або повної втрати працездатності транспортного засобу.

Важливим аспектом є вплив системи живлення на масу та габарити електромобіля. Акумуляторна батарея має значну масу і займає істотний об'єм, тому її розміщення безпосередньо впливає на компоновку кузова, центр мас та керованість автомобіля. Раціональне компонування системи живлення дозволяє знизити навантаження на ходову частину, покращити стійкість електромобіля та підвищити рівень пасивної безпеки.

Система живлення також безпосередньо впливає на динамічні характеристики електромобіля. Потужність та напруга акумуляторної батареї визначають можливості тягового електродвигуна, прискорення автомобіля та його максимальну швидкість. Крім того, система живлення бере участь у

процесі рекуперації енергії під час гальмування, що дозволяє частково відновлювати заряд акумуляторної батареї та підвищувати загальну енергоефективність транспортного засобу.

Для кращого розуміння ролі системи живлення в конструкції електромобіля доцільно розглянути її взаємозв'язок з основними вузлами автомобіля у вигляді рисунку 1.1.

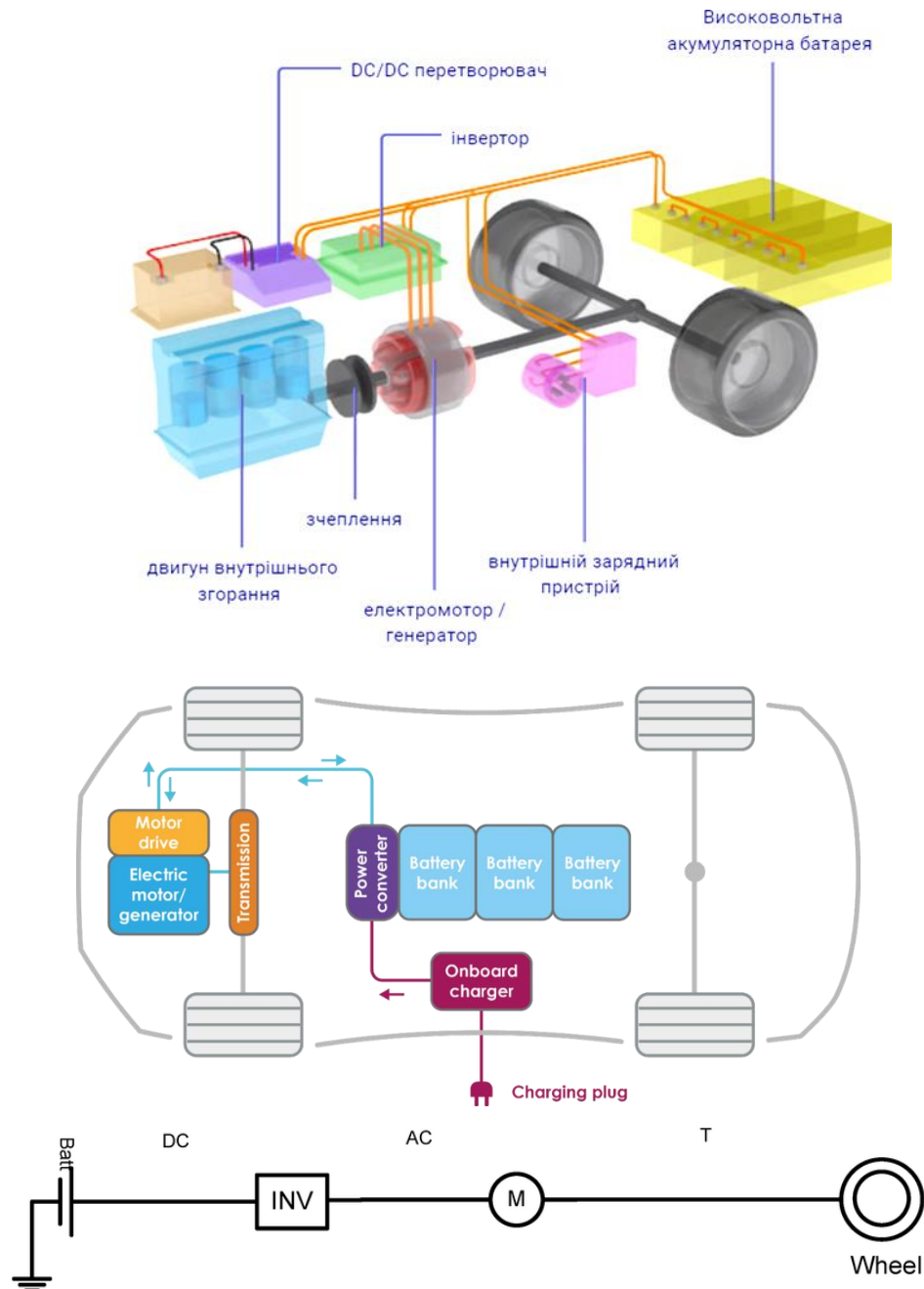


Рисунок 1.1 – Взаємозв'язок системи живлення з основними вузлами електромобіля: Акумуляторна батарея → Система керування батареєю → Силовий інвертор → Тяговий електродвигун → Трансмісія → Ведучі колеса

З інженерної точки зору важливою є також надійність системи живлення. Вона повинна забезпечувати стабільну роботу в широкому діапазоні температур, витримувати механічні навантаження та бути захищеною від зовнішніх впливів. Особливі вимоги висуваються до електробезпеки, оскільки система живлення працює з високою напругою, що потребує спеціальних конструктивних рішень і систем захисту.

Для узагальнення впливу системи живлення на основні характеристики електромобіля доцільно використати таблицю.

Таблиця 1.2 – Вплив системи живлення на характеристики електромобіля

Характеристика електромобіля	Вплив системи живлення
Запас ходу	Визначається ємністю та ефективністю батареї
Маса автомобіля	Залежить від типу та розміщення акумуляторів
Динаміка руху	Визначається напругою та потужністю системи
Безпека	Залежить від конструкції та захисту батареї
Енергоефективність	Підвищується завдяки рекуперації

Таким чином, система живлення відіграє визначальну роль у формуванні конструкції та експлуатаційних характеристик електромобіля. Саме тому її аналіз і вибір оптимального варіанту з урахуванням компоновальних схем є важливим інженерним завданням, що обґрунтовує подальший розгляд даної теми в наступних підрозділах роботи.[3].

1.3 Обґрунтування актуальності вибору оптимальної системи живлення

Актуальність вибору оптимальної системи живлення електромобілів зумовлена тим, що саме ця система є найбільш складним, дорогим і відповідальним елементом конструкції електромобіля. Вона визначає основні експлуатаційні показники транспортного засобу, зокрема запас ходу, масу, надійність, рівень безпеки та загальну ефективність використання електричної енергії. Неправильний або необґрунтований вибір системи живлення призводить до зниження технічних характеристик електромобіля та збільшення витрат на його експлуатацію.

На сучасному етапі розвитку електромобільного транспорту існує декілька варіантів побудови систем живлення, які відрізняються між собою типом акумуляторних батарей, їх ємністю, масою та способом компонування в конструкції автомобіля. Кожна з таких систем має свої переваги та недоліки, які проявляються під час експлуатації. Тому вибір системи живлення не може здійснюватися інтуїтивно або лише за одним показником, наприклад, за максимальною ємністю батареї.

Особливу роль відіграє компонувальна схема системи живлення, оскільки вона безпосередньо впливає на розподіл маси електромобіля, положення центра мас та навантаження на елементи ходової частини. Нераціональне розміщення акумуляторної батареї може призвести до погіршення керованості, зниження рівня пасивної безпеки та ускладнення технічного обслуговування. У зв'язку з цим актуальним є порівняльний аналіз різних компонувальних схем з метою вибору оптимального варіанта.

Вибір оптимальної системи живлення повинен базуватися на сукупності технічних і експлуатаційних критеріїв. До таких критеріїв належать енергетична ємність акумуляторної батареї, маса системи живлення, рівень втрат енергії, надійність, безпека та вартість. Для обґрунтованого вибору

доцільно застосовувати порівняльний аналіз, який дозволяє оцінити різні варіанти систем живлення за однаковими умовами.

Для наочності доцільно подати основні критерії вибору системи живлення у вигляді таблиці.

Актуальність теми також полягає в необхідності адаптації конструктивних рішень систем живлення до реальних умов експлуатації. Температурний режим, інтенсивність використання та особливості дорожньої інфраструктури безпосередньо впливають на ефективність роботи акумуляторних батарей. Тому вибір оптимальної системи живлення має здійснюватися з урахуванням комплексного аналізу її конструкції та компонування.

Таблиця 1.3 – Основні критерії вибору системи живлення електромобіля

Критерій	Характеристика
Енергетична ємність	Визначає запас ходу електромобіля
Маса системи	Впливає на динаміку та енергоефективність
Компонування	Визначає стійкість і безпеку
Надійність	Забезпечує стабільну роботу системи
Вартість	Впливає на економічну доцільність

Таким чином, обґрунтування актуальності вибору оптимальної системи живлення електромобілів полягає в необхідності підвищення їх технічної ефективності, безпеки та економічної доцільності. Це підтверджує важливість проведення аналізу систем живлення та їх компонувальних схем, що є основою для подальших досліджень у наступних розділах дипломної роботи.

Висновок до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи розглянуто сучасний стан і тенденції розвитку електромобілів у світі та в Україні, що підтверджує актуальність переходу до електричного транспорту. Показано, що зростання

кількості електромобілів супроводжується підвищенням вимог до їх технічних та експлуатаційних характеристик.

Проаналізовано роль системи живлення в конструкції електромобіля та встановлено, що вона є визначальним елементом, який впливає на запас ходу, масу, динаміку, безпеку та енергоефективність транспортного засобу. Обґрунтовано, що саме система живлення формує основні особливості компонування електромобіля.

Доведено актуальність вибору оптимальної системи живлення на основі аналізу її компонувальних схем. Встановлено, що раціональний вибір системи живлення повинен базуватися на сукупності технічних, експлуатаційних та економічних критеріїв, що є підґрунтям для подальшого аналізу та порівняння систем живлення в наступних розділах дипломної роботи.

.

2.2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТА КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

2.1 Основні елементи системи живлення електромобіля

Система живлення електромобіля складається з ряду основних елементів, кожен з яких виконує окрему функцію у процесі накопичення, перетворення та використання електричної енергії. Загальна структура системи живлення електромобіля наведена на рисунку 2.1, де показано взаємозв'язок між основними вузлами.

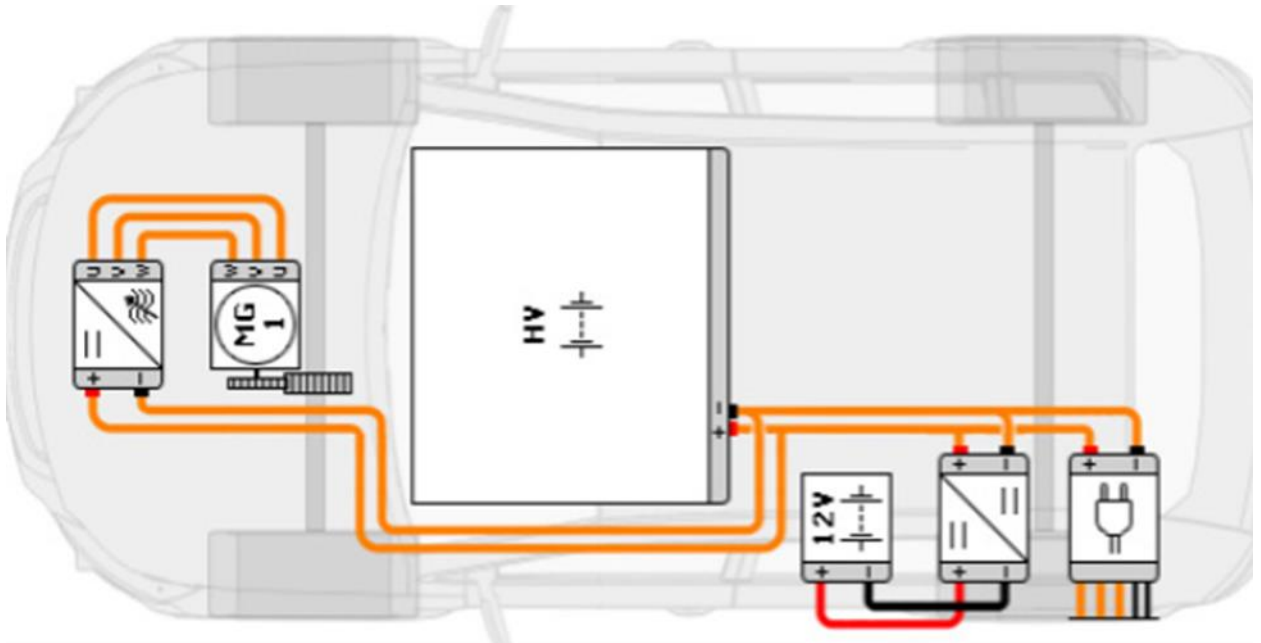


Рисунок 2.1 – Загальна структура системи живлення електромобіля

Основним елементом системи живлення є акумуляторна батарея. Вона призначена для накопичення електричної енергії та забезпечення живлення тягового електродвигуна і допоміжних систем. Типовий вигляд та принципова схема акумуляторної батареї електромобіля наведені на рисунку 2.2.

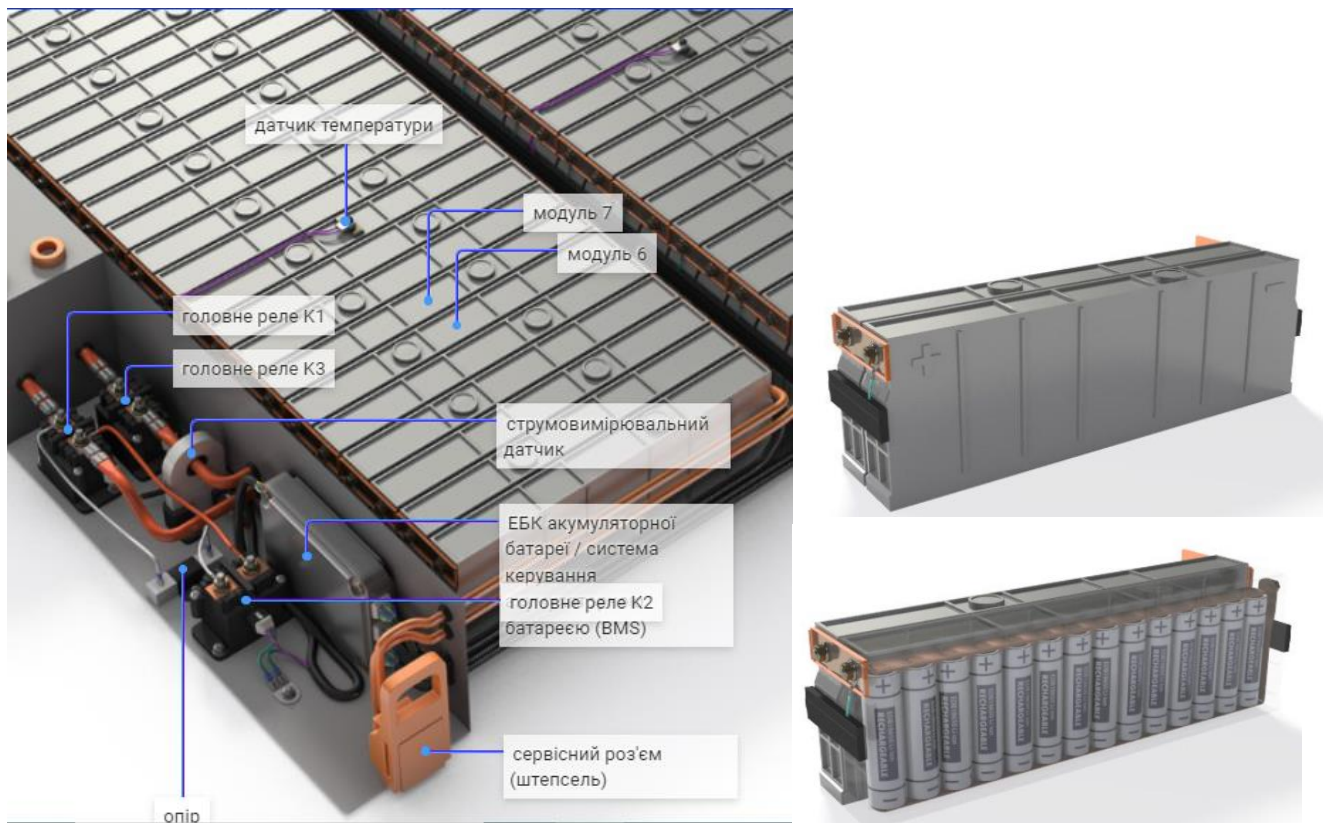


Рисунок 2.2 – Акумуляторна батарея електромобіля

Основними технічними характеристиками акумуляторної батареї є номінальна напруга U , ємність C та запас енергії E . Запас енергії батареї визначається за формулою

$$E = U \cdot C, \quad (2.1)$$

де, E – енергетична ємність батареї, Вт·год;

U – номінальна напруга батареї, В;

C – ємність батареї, А·год.

Запас ходу електромобіля прямо пропорційний енергетичній ємності акумуляторної батареї та ефективності використання енергії.

Для забезпечення безпечної та стабільної роботи акумуляторної батареї використовується система керування батареєю, зовнішній вигляд якої наведено на рисунку 2.3.

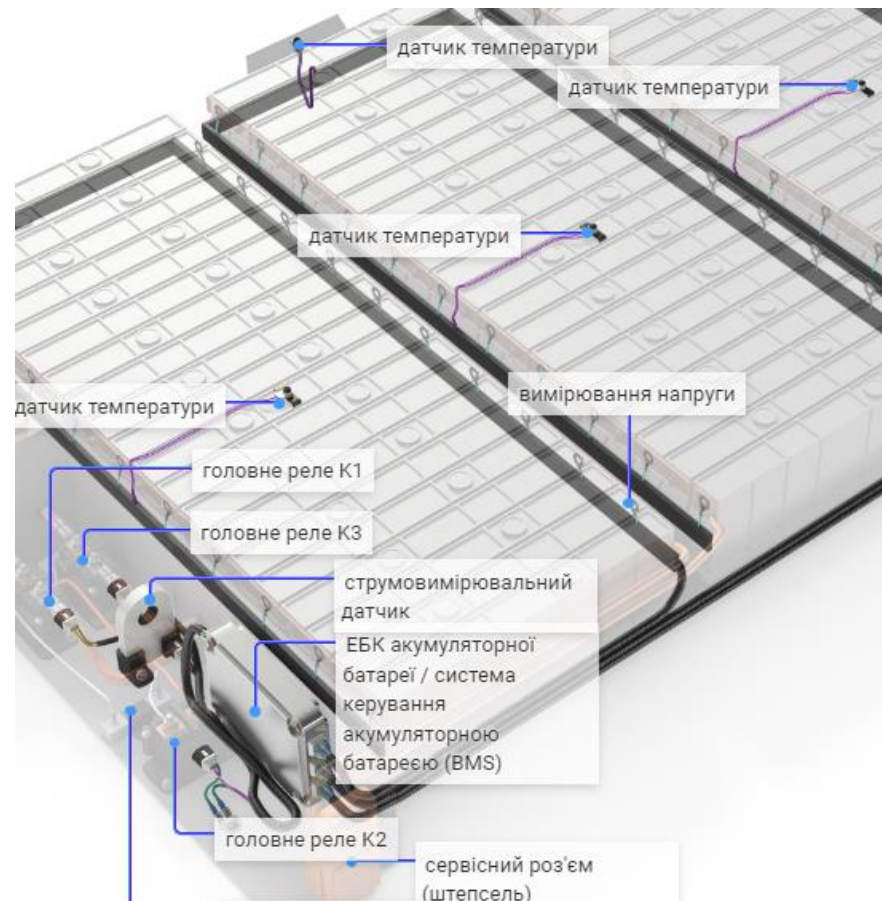


Рисунок 2.3 – Система керування акумуляторною батареєю

Система керування батареєю виконує контроль напруги, струму та температури окремих осередків батареї, а також здійснює балансування заряду. Одним з важливих параметрів є допустимий струм розряду, який можна оцінити за формулою

$$I = P / U, \quad (2.2)$$

де, I – струм розряду батареї, А;

P – потужність тягового електродвигуна, Вт;

U – напруга батареї, В.

Наступним важливим елементом системи живлення є інвертор, який перетворює постійний струм акумуляторної батареї у змінний струм для живлення тягового електродвигуна. Загальний вигляд інвертора електромобіля наведено на рисунку 2.4.

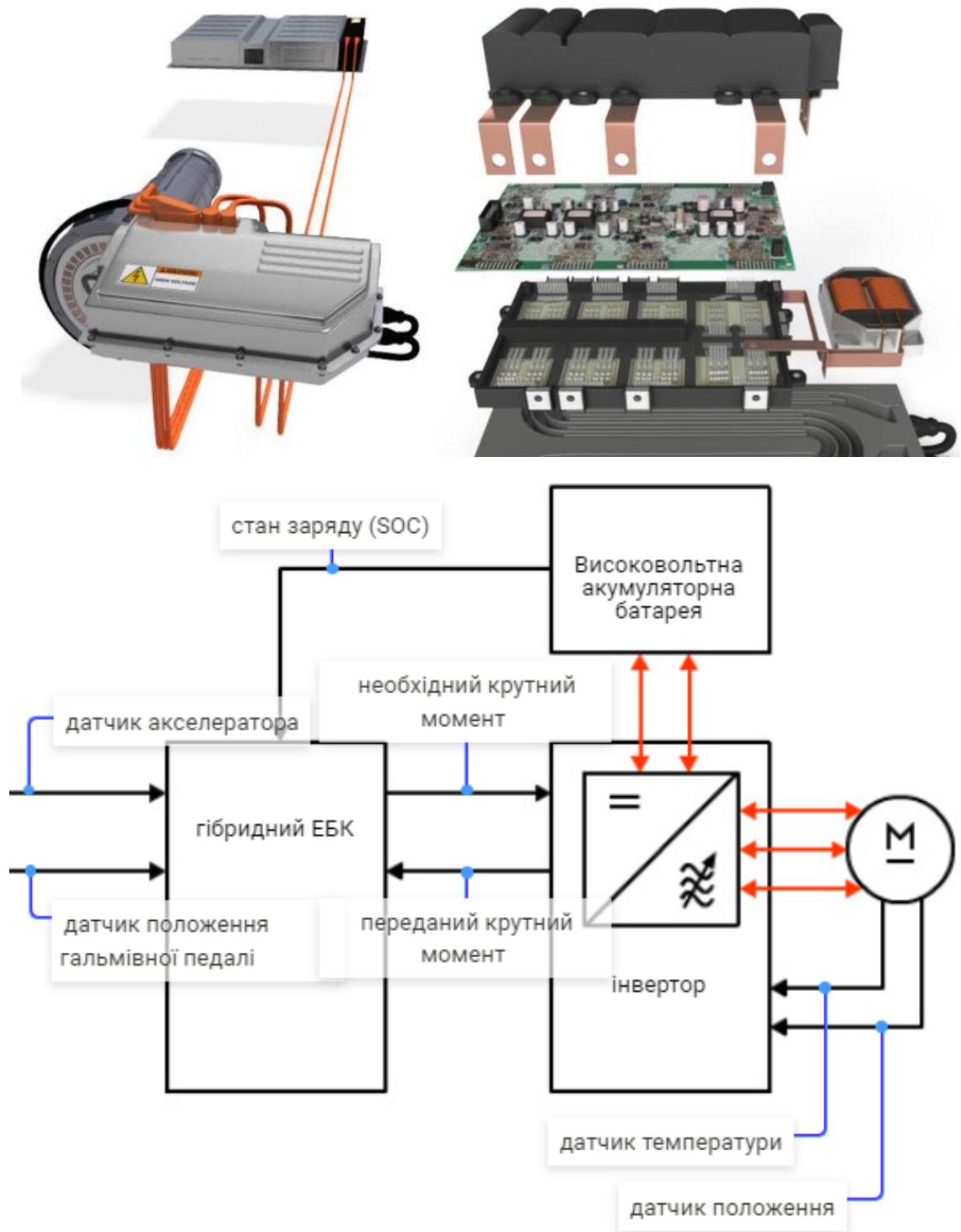


Рисунок 2.4 – Інвертор електромобіля

Інвертор забезпечує регулювання частоти та напруги змінного струму, що дозволяє керувати швидкістю обертання та крутним моментом електродвигуна. Електрична потужність, що передається через інвертор, визначається за формулою

$$P = U \cdot I \cdot \eta, \quad (2.3)$$

де, P – потужність, Вт;

U – напруга, В;

I – струм, А;

η – коефіцієнт корисної дії інвертора.

Заряджання акумуляторної батареї здійснюється за допомогою зарядного пристрою, який може бути вбудованим або зовнішнім. Типовий зарядний пристрій електромобіля наведено на рисунку 2.5.

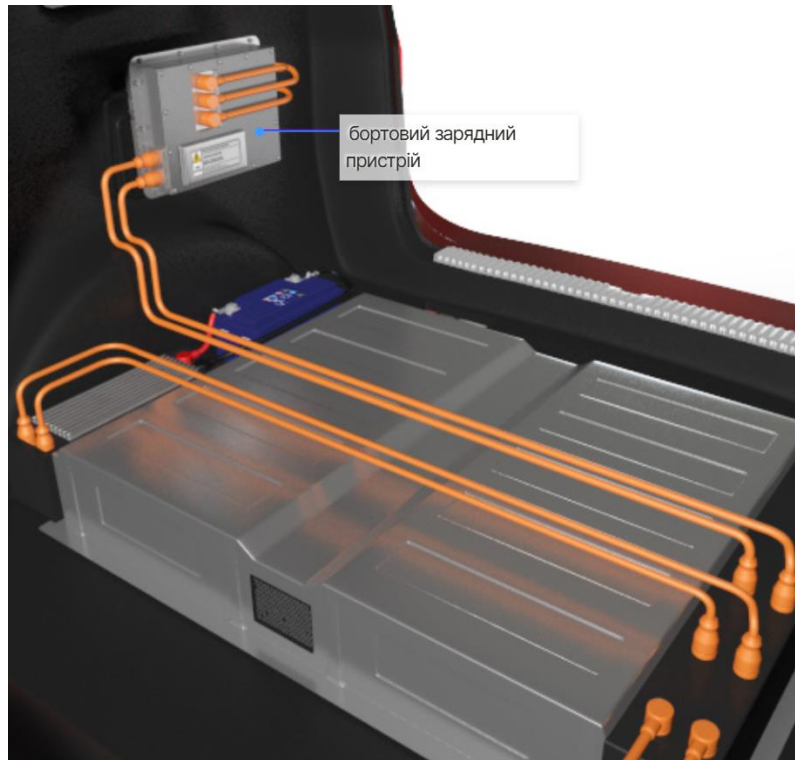


Рисунок 2.5 – Зарядний пристрій електромобіля

Основною характеристикою зарядного пристрою є його потужність, яка визначає тривалість заряджання батареї. Орієнтовний час заряджання можна визначити за формулою

$$t = E / P_z, \quad (2.4)$$

де, t – час заряджання, год;

E – енергетична ємність батареї, Вт·год;

P_z – потужність зарядного пристрою, Вт.

Високовольтні кабелі, контактори та запобіжники забезпечують передачу електричної енергії між елементами системи живлення та захист від аварійних режимів. Приклад компонування високовольтних з'єднань показано на рисунку 2.6.

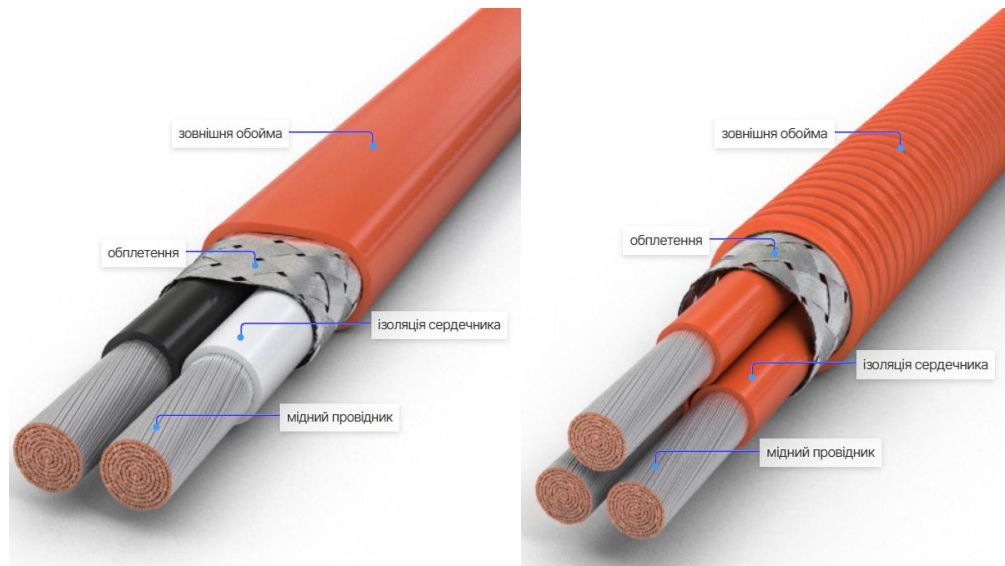


Рисунок 2.6 – Високовольтні кабелі

Для узагальнення технічних характеристик основних елементів системи живлення доцільно використати таблицю.

Таблиця 2.1 – Основні елементи та параметри системи живлення електромобіля

Елемент системи	Основні параметри
Акумуляторна батарея	Напруга, ємність, запас енергії
Система керування батареєю	Струм, температура, балансування
Інвертор	Потужність, ККД, напруга
Зарядний пристрій	Потужність, час заряджання
Силові кабелі	Допустимий струм, ізоляція

Таким чином, система живлення електромобіля складається з ряду функціонально пов'язаних елементів, кожен з яких має свої технічні характеристики та впливає на загальну ефективність роботи транспортного засобу. Детальний розгляд їх конструктивного розміщення є необхідним для подальшого аналізу компоновальних схем, що буде виконано у підрозділі 2.2.

2.2 Компоновальні схеми розміщення акумуляторних батарей

Компоновальна схема розміщення акумуляторної батареї є одним з ключових факторів, що визначає конструктивні та експлуатаційні властивості

електромобіля. Оскільки акумуляторна батарея має значну масу і об'єм, її розміщення впливає на центр мас транспортного засобу, жорсткість кузова, безпеку пасажирів та зручність технічного обслуговування. Тому при проєктуванні електромобілів застосовуються різні компоновальні рішення, кожне з яких має свої особливості.

Однією з найпоширеніших у сучасних електромобілях є схема розміщення акумуляторної батареї в підлозі кузова. Загальний принцип такого компонування показано на рисунку 2.7. У цій схемі батарея виконується у вигляді плоского пакета, який встановлюється між осями автомобіля під пасажирським салоном.

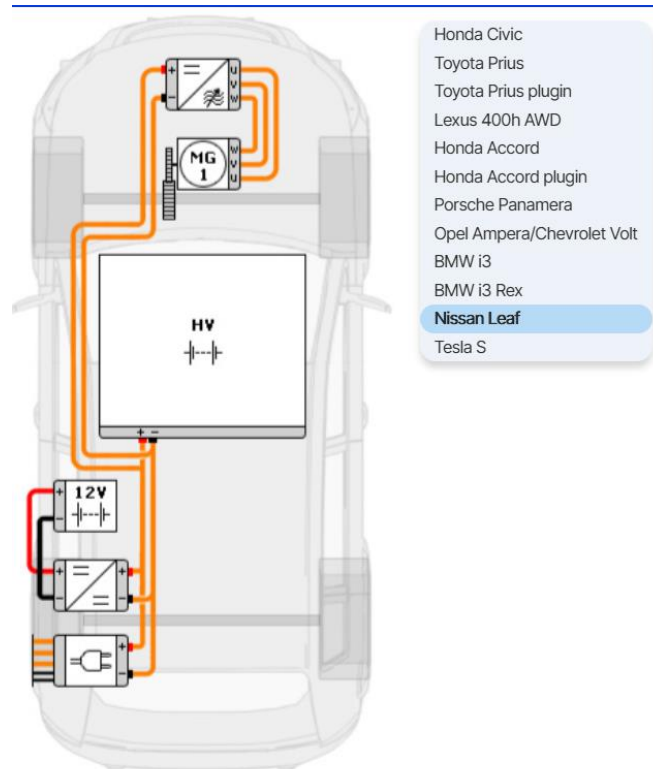


Рисунок 2.7 – Розміщення акумуляторної батареї в підлозі кузова електромобіля

Розміщення батареї в підлозі дозволяє знизити центр мас електромобіля, що позитивно впливає на його стійкість та керованість. Крім того, таке компонування забезпечує рівномірний розподіл маси по осях і не зменшує корисний об'єм салону та багажного відділення. Недоліком цієї схеми є ускладнення конструкції кузова та підвищені вимоги до захисту батареї від механічних пошкоджень.

Іншим варіантом є розміщення акумуляторної батареї в центральному тунелі або під заднім сидінням, що характерно для перших поколінь електромобілів і гібридних транспортних засобів. Приклад такого компонування наведено на рисунку 2.8. У цьому випадку батарея має компактніші розміри та складається з окремих модулів.

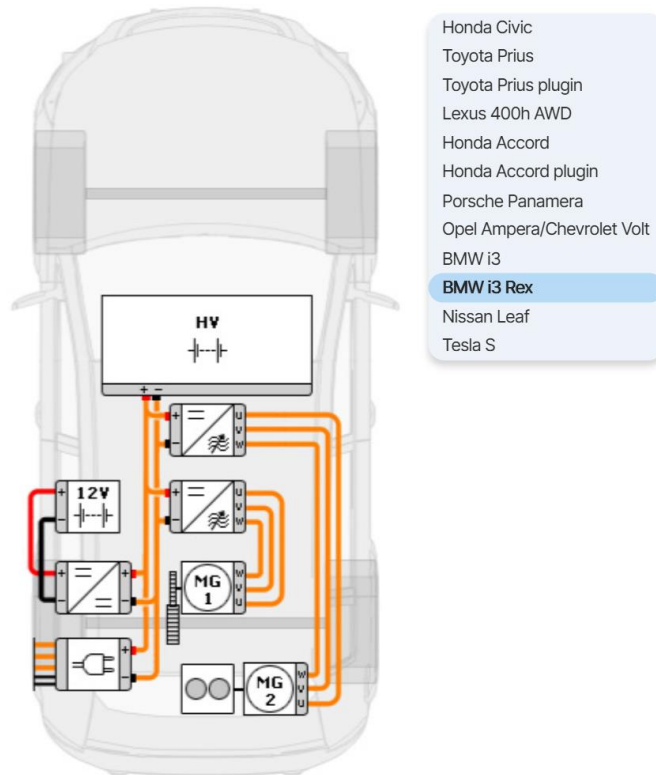


Рисунок 2.8 – Розміщення акумуляторної батареї в центральному тунелі електромобіля

Перевагою даної схеми є простіша інтеграція батареї в існуючу конструкцію автомобіля, особливо якщо електромобіль створюється на базі платформи з двигуном внутрішнього згоряння. Водночас таке розміщення обмежує ємність акумуляторної батареї та може негативно впливати на комфорт пасажирів через зменшення простору салону.

Ще одним варіантом компонування є розміщення акумуляторної батареї в багажному відділенні або задній частині кузова. Схематично таке рішення показано на рисунку 2.9. Цей варіант застосовувався переважно в ранніх моделях електромобілів або в переобладнаних транспортних засобах.

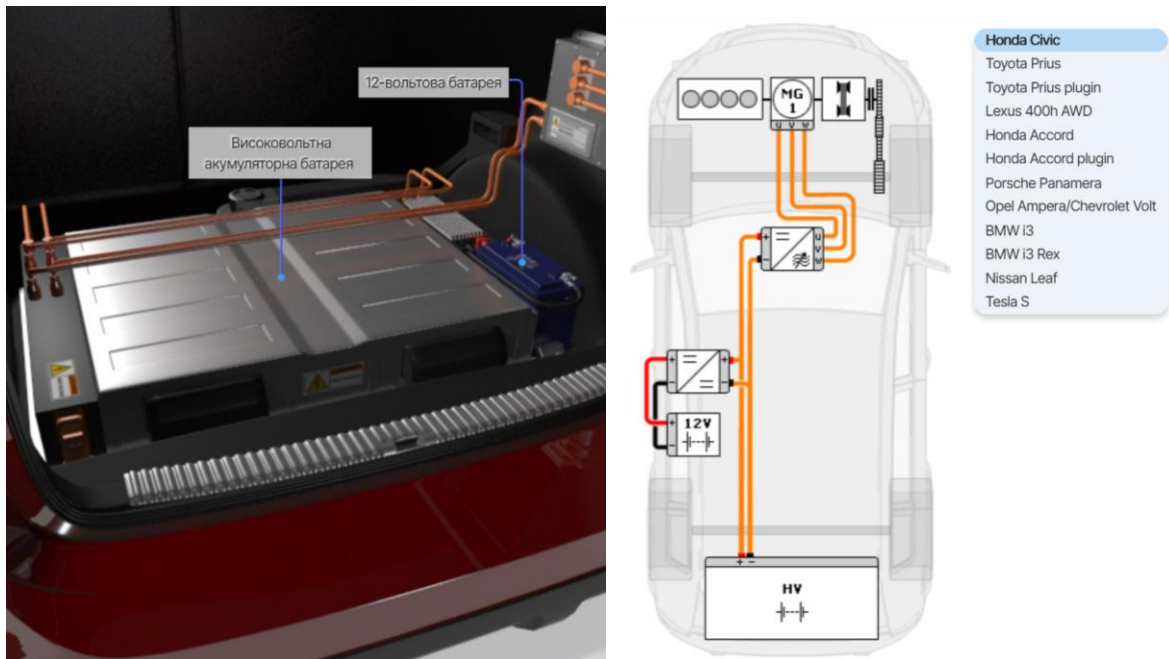


Рисунок 2.9 – Розміщення акумуляторної батареї в багажному відділенні електромобіля

Основною перевагою такого компонування є конструктивна простота та зручність монтажу батареї. Проте значна концентрація маси в задній частині автомобіля призводить до погіршення розподілу навантажень по осях і негативно впливає на керованість та безпеку руху.

Для кількісної оцінки впливу компонування акумуляторної батареї на положення центра мас електромобіля можна використати спрощену залежність

$$h_{\text{цм}} = (\sum m_i \cdot h_i) / \sum m_i, \quad (2.5)$$

де, $h_{\text{цм}}$ – висота центра мас електромобіля, м;

m_i – маса окремого елемента, кг;

h_i – висота розміщення елемента відносно дороги, м.

З наведеної формули видно, що зменшення висоти розміщення акумуляторної батареї, яка має найбільшу масу серед елементів електромобіля, дозволяє суттєво знизити загальний центр мас транспортного засобу.

Для порівняльного аналізу різних компоновальних схем доцільно використати узагальнену таблицю.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика компоновальних схем розміщення акумуляторних батарей електромобілів

Компоновальна схема	Розміщення батареї	Вплив на центр мас	Розподіл маси по осях	Умови охолодження	Пожежна безпека	Захист від механічних пошкоджень	Складність конструкції	Зручність технічного обслуговування	Вплив на корисний об'єм	Загальна оцінка
У підлозі кузова	Плоский батарейний пакет між осями під салоном	Мінімальна висота центра мас	Близький до рівномірного	Сприятливі, можливе ефективне рідинне охолодження	Висока за умови герметизації та систем захисту	Потребує посиленого захисту днища	Висока	Ускладнене, потребує підйомника	Не зменшується	Найбільш ефективна
У центральній частині кузова	Центральний тунель або зона під сидіннями	Середня висота центра мас	Помірно рівномірний	Обмежені, ускладнений теплообмін	Середня	Кращий захист від бокових ударів	Середня	Задовільна	Частково зменшується	Компромісна
У багажному відділенні	Задня частина кузова	Підвищена висота центра мас	Зміщення маси на задню вісь	Ускладнені, обмежена вентиляція	Знижена	Низький рівень захисту	Низька	Проста	Значно зменшується	Найменш доцільна

Проведений аналіз показує, що компоновальна схема з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова є найбільш доцільною для сучасних повністю електричних автомобілів, оскільки вона забезпечує мінімальну висоту центра мас, рівномірний розподіл навантажень по осях та сприятливі умови для охолодження батареї. Саме ця схема використовується в більшості серійних електромобілів, розроблених на спеціалізованих електричних платформах.

Разом з тим, компоновальні рішення з розміщенням акумуляторної батареї в центральній частині кузова або в задній частині не є помилковими, а застосовуються в конкретних інженерних умовах. Центральне розміщення батареї характерне для гібридних транспортних засобів та електромобілів, створених на базі платформ з двигуном внутрішнього згоряння, де передня частина автомобіля вже зайнята силовим агрегатом і допоміжними системами. У таких випадках акумуляторна батарея виконує допоміжну функцію і має відносно невелику ємність.

Розміщення акумуляторної батареї в задній частині кузова застосовувалося переважно в ранніх моделях електромобілів або в переобладнаних транспортних засобах, де ключовим фактором була простота конструкції та мінімальні зміни базової компоновки автомобіля. За наявності значної маси силового агрегату в передній частині, таке рішення частково компенсувало нерівномірний розподіл маси, проте не забезпечувало високих показників керованості та безпеки.

Таким чином, менш поширені компоновальні схеми розміщення акумуляторних батарей застосовуються не як універсальні рішення, а як компромісні варіанти, обумовлені особливостями платформи та конструкції транспортного засобу. Це підтверджує доцільність подальшого порівняльного аналізу систем живлення електромобілів з метою обґрунтованого вибору оптимального рішення, що буде виконано в наступному підрозділі.

2.3 Переваги та недоліки різних компоувальних схем систем живлення

Переваги та недоліки систем живлення електромобілів тісно пов'язані з обраною компоувальною схемою розміщення акумуляторної батареї та силових елементів. Одна і та сама система живлення може демонструвати різні експлуатаційні показники залежно від її інтеграції в конструкцію автомобіля. Тому оцінювання доцільності тієї чи іншої компоувальної схеми має виконуватися з урахуванням комплексу технічних, експлуатаційних і безпекових факторів.

Система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова характеризується найбільш збалансованим поєднанням технічних переваг. Низьке розташування батареї забезпечує зменшення висоти центра мас, що позитивно впливає на стійкість електромобіля під час руху, особливо в поворотах і при гальмуванні. Така схема створює сприятливі умови для реалізації ефективних систем охолодження, зокрема рідинного, завдяки великій площі контакту батарейного модуля з навколишнім середовищем. Разом з тим, до недоліків належить підвищена складність конструкції кузова, необхідність посиленого захисту батареї від ударів знизу та ускладнення доступу під час технічного обслуговування.

Компоувальні схеми з центральним розміщенням акумуляторної батареї мають інший характер переваг і недоліків. Основною перевагою є можливість інтеграції системи живлення в платформи, що спочатку не проєктувалися як електричні. Це характерно для гібридних транспортних засобів, у яких значна маса зосереджена в передній частині автомобіля через наявність двигуна внутрішнього згоряння. У таких умовах центральне розміщення батареї дозволяє частково вирівняти розподіл маси по осях. Недоліками цієї схеми є обмежені можливості охолодження, складні умови розміщення захисних елементів і зменшення корисного об'єму салону.

Системи живлення з розміщенням акумуляторної батареї в задній частині кузова мають найпростішу конструктивну реалізацію, що було характерно для ранніх електромобілів і переобладнаних транспортних засобів. Перевагою такого рішення є зручність монтажу та доступність батареї для обслуговування. Проте концентрація значної маси в задній частині призводить до погіршення розподілу навантажень по осях, зниження курсової стійкості та ускладнення забезпечення пожежної безпеки. Крім того, умови охолодження батареї в багажному відділенні є менш сприятливими через обмежену вентиляцію.

Для узагальнення переваг і недоліків різних компоновальних схем систем живлення доцільно подати їх у вигляді зведеної таблиці, яка дозволяє наочно порівняти технічні та експлуатаційні аспекти.

Таблиця 2.3 – Переваги та недоліки компоновальних схем систем живлення електромобілів

Компоновальна схема	Основні переваги	Основні недоліки
У підлозі кузова	Низький центр мас, добра керованість, ефективне охолодження, високий рівень безпеки	Складна конструкція кузова, ускладнене обслуговування
У центральній частині кузова	Можливість використання існуючих платформ, кращий баланс маси для гібридів	Обмежена ємність батареї, складні умови охолодження
У задній частині кузова	Простота монтажу, зручність доступу	Погіршення керованості, знижена безпека, обмежене охолодження

Аналіз переваг і недоліків показує, що універсальної компоновальної схеми системи живлення не існує. Їх вибір залежить від конструктивних особливостей транспортного засобу, типу силової установки та умов експлуатації. Водночас для сучасних повністю електричних автомобілів найбільш доцільною є схема з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі

кузова, тоді як інші рішення доцільно розглядати як спеціалізовані або компромісні.

Отримані результати створюють основу для подальшого кількісного порівняння систем живлення та формування критеріїв вибору оптимального рішення, що буде виконано в розділі 3.

Висновок до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи розглянуто конструкцію та особливості систем живлення електромобілів з точки зору їх елементного складу та компоновальних схем. Встановлено, що система живлення є багатокомпонентною технічною системою, у якій акумуляторна батарея, силова електроніка, системи керування та захисту працюють у тісному взаємозв'язку та визначають основні експлуатаційні характеристики електромобіля.

Проведено аналіз основних компоновальних схем розміщення акумуляторних батарей, зокрема в підлозі кузова, у центральній частині та в задній частині автомобіля. Показано, що вибір схеми безпосередньо впливає на положення центра мас, розподіл навантажень по осях, умови охолодження, рівень пожежної безпеки та зручність технічного обслуговування.

Встановлено, що компоновальна схема з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова є найбільш ефективною для сучасних електромобілів, розроблених на спеціалізованих платформах. Центральне та заднє розміщення батареї доцільно застосовувати в гібридних транспортних засобах або в конструкціях, що мають обмеження щодо компоновки, де такі рішення виступають як компромісні.

Отримані висновки є основою для подальшого формування критеріїв оцінювання та кількісного порівняння систем живлення електромобілів з метою вибору оптимального рішення, що буде виконано в третьому розділі дипломної роботи

З ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

3.1 Критерії оцінювання систем живлення електромобілів

Для обґрунтованого вибору оптимальної системи живлення електромобіля необхідно сформулювати систему критеріїв оцінювання, яка дозволяє порівнювати різні варіанти за однаковими умовами. Оскільки система живлення впливає одночасно на технічні, експлуатаційні та безпекові характеристики транспортного засобу, оцінювання повинно мати комплексний характер і не ґрунтуватися лише на одному показнику, наприклад, ємності акумуляторної батареї.

Основним технічним критерієм є енергетична ємність системи живлення, яка визначає можливий запас ходу електромобіля. Вона залежить від типу акумуляторної батареї, її номінальної напруги та ємності. Енергетична ємність визначається за залежністю

$$E = U \cdot C, \quad (3.1)$$

де, E – енергетична ємність батареї, Вт·год;

U – номінальна напруга батареї, В;

C – ємність батареї, А·год.

Другим важливим критерієм є маса системи живлення, оскільки акумуляторна батарея є одним з найважчих елементів електромобіля. Збільшення маси системи живлення призводить до зростання енерговитрат, зниження динамічних характеристик та збільшення навантажень на елементи ходової частини. Для порівняльної оцінки доцільно використовувати питому енергетичну ємність

$$e_p = E / m, \quad (3.2)$$

де, e_p – питома енергетична ємність, Вт·год/кг;

m – маса акумуляторної батареї, кг.

Важливим експлуатаційним критерієм є ефективність використання енергії, яка залежить від коефіцієнта корисної дії елементів системи живлення, зокрема інвертора та електродвигуна. Узагальнено ефективність системи живлення можна оцінити через сумарний ККД

$$\eta_c = \eta_b \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{dv}, \quad (3.3)$$

де, η_c – сумарний ККД системи живлення;

η_b – ККД акумуляторної батареї;

η_{inv} – ККД інвертора;

η_{dv} – ККД електродвигуна.

Окрему групу критеріїв становлять показники безпеки та надійності. До них належать умови охолодження акумуляторної батареї, рівень пожежної безпеки, захищеність від механічних пошкоджень та стабільність роботи системи за різних температурних режимів. Ці показники складно оцінити безпосередньо числовими значеннями, тому на практиці їх доцільно враховувати у вигляді якісної або бальної оцінки.

Не менш важливим є критерій зручності технічного обслуговування, який визначається доступністю елементів системи живлення, складністю демонтажу акумуляторної батареї та можливістю проведення діагностики. Умови обслуговування безпосередньо впливають на експлуатаційні витрати та тривалість простою електромобіля.

Для узагальнення критеріїв оцінювання систем живлення доцільно подати їх у вигляді таблиці, яка буде використана в подальшому для порівняльного аналізу.

Таблиця 3.1 – Основні критерії оцінювання систем живлення електромобілів

Критерій	Характеристика	Спосіб оцінювання
Енергетична ємність	Визначає запас ходу	Розрахунковий
Маса системи	Впливає на динаміку та енерговитрати	Розрахунковий
Питома енергоємність	Характеризує ефективність батареї	Розрахунковий
Енергоефективність	Визначається сумарним ККД	Розрахунковий
Охолодження	Забезпечує стабільну роботу батареї	Якісний
Пожежна безпека	Рівень захисту від аварій	Якісний
Обслуговування	Зручність доступу та ремонту	Якісний

Таким чином, сформована система критеріїв дозволяє комплексно оцінювати системи живлення електромобілів з урахуванням їх компоновальних схем. Використання як кількісних, так і якісних показників створює основу для подальшого порівняльного аналізу та обґрунтування вибору оптимальної системи живлення, що буде виконано в наступному підрозділі.

3.2 Порівняльний аналіз систем живлення за основними показниками

Порівняльний аналіз систем живлення електромобілів виконується з метою кількісного та рейтингового оцінювання різних компоновальних схем на основі критеріїв, визначених у підрозділі 3.1. Для забезпечення коректності порівняння розглядається умовний електромобіль одного класу, для якого змінюється лише система живлення та спосіб розміщення акумуляторної батареї.

Основним кількісним показником є енергетична ємність акумуляторної батареї, яка безпосередньо впливає на запас ходу електромобіля. Орієнтовний запас ходу визначається за залежністю

$$L = E / q, \quad (3.4)$$

де, L – запас ходу електромобіля, км;

E – енергетична ємність акумуляторної батареї, Вт·год;

q – середні питомі витрати енергії, Вт·год/км.

ля розрахунків прийнято середнє значення питомих витрат енергії $q = 180$ Вт·год/км, що відповідає сучасним легковим електромобілям міського та середнього класу.

Для оцінювання ефективності використання маси батареї застосовується питома енергоємність системи живлення, яка визначається за формулою

$$e_c = E / m_c, \quad (3.5)$$

де, e_c – питома енергоємність системи живлення, Вт·год/кг;

m_c – маса батарейної системи в цілому, кг.

Слід зазначити, що питома енергоємність окремих акумуляторних елементів не залежить від їх розміщення в конструкції електромобіля та визначається хімічним складом батареї. Водночас у даній роботі оцінюється питома енергоємність системи живлення в цілому, яка включає акумуляторні осередки, корпус, систему охолодження, захисні та кріпильні елементи. Компонувальна схема безпосередньо впливає на масу цих допоміжних елементів і, відповідно, на значення питомої енергоємності всієї системи живлення.

Показники впливу на центр мас, умов охолодження, пожежної безпеки та зручності технічного обслуговування не можуть бути точно визначені розрахунковим шляхом, тому в роботі вони оцінюються за рейтинговою шкалою від 1 до 5, де 5 відповідає найкращим умовам експлуатації, а 1 – найгіршим.

Результати порівняльного аналізу систем живлення з різними компоновальними схемами наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз систем живлення електромобілів за кількісними та рейтинговими показниками

Показник	У підлозі кузова	У центральній частині	У задній частині
Енергетична ємність батареї, кВт·год	75	45	35
Маса батарейної системи, кг	480	320	300
Питома енергоемність системи, Вт·год/кг	156	141	117
Розрахунковий запас ходу, км	417	250	194
Вплив на центр мас, бал	5	3	2
Умови охолодження, бал	5	3	2
Пожежна безпека, бал	5	3	2
Зручність технічного обслуговування, бал	3	4	5
Сумарна рейтингова оцінка, бал	31	22	18

Сумарна рейтингова оцінка визначена як сума бальних показників за якісними критеріями та використовується для узагальненого порівняння систем живлення. Числові значення параметрів прийняті на основі узагальнених даних сучасних серійних електромобілів і застосовуються для відносного аналізу різних компоновальних схем.

При формуванні сумарної рейтингової оцінки для системи живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова використано узагальнені конструктивні рішення, характерні для сучасних серійних електромобілів, таких як Tesla Model 3, Volkswagen ID.4, Hyundai Kona Electric. У цих моделях батарейний пакет розміщений у підлозі між осями, що забезпечує мінімальну висоту центра мас і високу курсову стійкість, тому за відповідним критерієм присвоєно максимальний бал. Реалізація повноцінного рідинного охолодження батареї, характерна для зазначених моделей, обґрунтовує високий рейтинг умов охолодження. Пожежна безпека оцінена також на

високому рівні завдяки герметичному батарейному корпусу та розміщенню батареї поза пасажирським простором. Зручність технічного обслуговування оцінена нижче, оскільки демонтаж батарейного пакета вимагає підйомника та спеціального обладнання.

Для системи живлення з центральним розміщенням акумуляторної батареї рейтингові оцінки сформовані на основі конструктивних рішень гібридних транспортних засобів і перехідних платформ, зокрема Toyota Prius Plug-in Hybrid та Mitsubishi Outlander PHEV. У цих моделях акумуляторна батарея розміщується в центральному тунелі або під задніми сидіннями, що дозволяє частково вирівняти розподіл маси при наявності двигуна внутрішнього згоряння в передній частині автомобіля. Водночас таке компонування не забезпечує мінімальної висоти центра мас, тому відповідний рейтинг є середнім. Умови охолодження батареї ускладнені через обмежений простір для розміщення теплових контурів, що також відображено в бальній оцінці. Пожежна безпека оцінена як середня, оскільки батарея розташована ближче до салону, але має багаторівневу систему захисту. Зручність технічного обслуговування є вищою, ніж у підлогових системах, завдяки доступу до батарейних модулів зсередини кузова.

Система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в задній частині кузова проаналізована на прикладі ранніх серійних електромобілів та переобладнаних транспортних засобів, зокрема Nissan Leaf першого покоління та електричних версій малих міських автомобілів. У таких моделях батарея частково або повністю розміщувалася в зоні багажного відділення або під заднім сидінням. Це призводило до підвищення центра мас і зміщення навантаження на задню вісь, що обґрунтовує низький рейтинг за відповідним критерієм. Умови охолодження батареї є менш сприятливими через обмежену вентиляцію, а пожежна безпека оцінена нижче через близькість батареї до пасажирського та багажного простору. Водночас зручність технічного обслуговування отримує високий бал, оскільки доступ до батареї є простим і не потребує складних демонтажних операцій.

Аналіз даних таблиці 3.2 показує, що система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова має найкраще поєднання енергетичних, експлуатаційних і безпекових показників. Центральне розміщення батареї демонструє середні значення та є доцільним у випадках конструктивних обмежень платформи, зокрема для гібридних транспортних засобів. Розміщення батареї в задній частині кузова має найнижчі показники за більшістю критеріїв і може розглядатися лише як компромісне або вимушене рішення.

Отримані результати створюють обґрунтовану кількісну основу для вибору оптимальної системи живлення електромобіля, що буде виконано в наступному підрозділі.

3.3 Обґрунтування вибору оптимальної системи живлення

Обґрунтування вибору оптимальної системи живлення електромобіля виконується на основі результатів кількісного та рейтингового аналізу, наведених у підрозділі 3.2. Для узагальнення отриманих результатів та підвищення наочності порівняння використано графічні матеріали у вигляді діаграм, які дозволяють візуально оцінити переваги та недоліки різних компоновальних схем.

На рисунку 3.1 наведено порівняння систем живлення електромобілів за сумарною рейтинговою оцінкою, сформованою на основі якісних критеріїв. Із наведених даних видно, що система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова має найбільше значення сумарного рейтингу. Це свідчить про те, що саме дана компоновальна схема забезпечує найбільш збалансоване поєднання показників безпеки, ефективності та експлуатаційної надійності.

Для детальнішого аналізу впливу окремих якісних критеріїв на вибір системи живлення на рисунку 3.2 наведено радарну діаграму, яка відображає

показники впливу на центр мас, умови охолодження, пожежну безпеку та зручність технічного обслуговування.

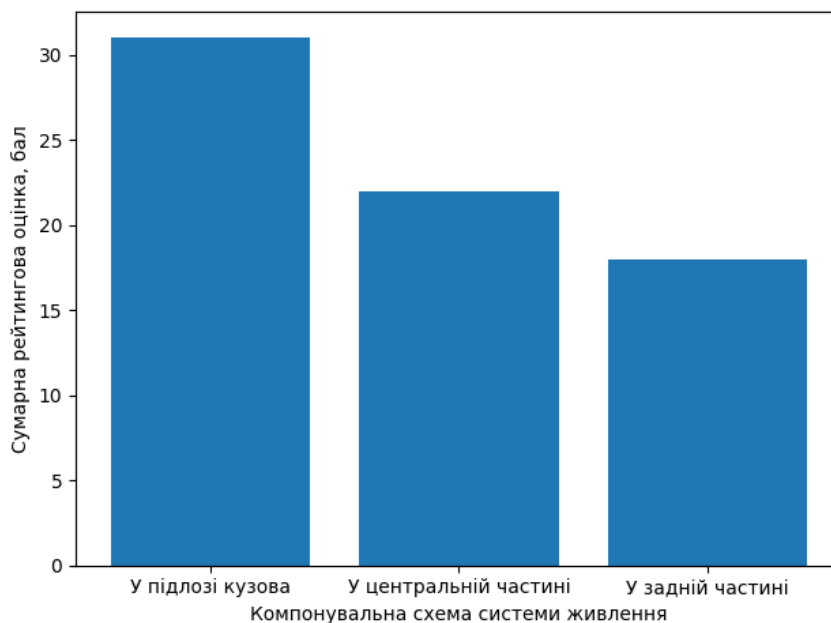


Рисунок 3.1 – Порівняння систем за сумарною рейтинговою оцінкою

Аналіз даної діаграми показує, що система живлення з підлоговим розміщенням акумуляторної батареї має найвищі значення за більшістю критеріїв. Особливо вираженою є перевага за показниками впливу на центр мас та умовами охолодження, що є визначальними для стійкості електромобіля та довговічності акумуляторної батареї.

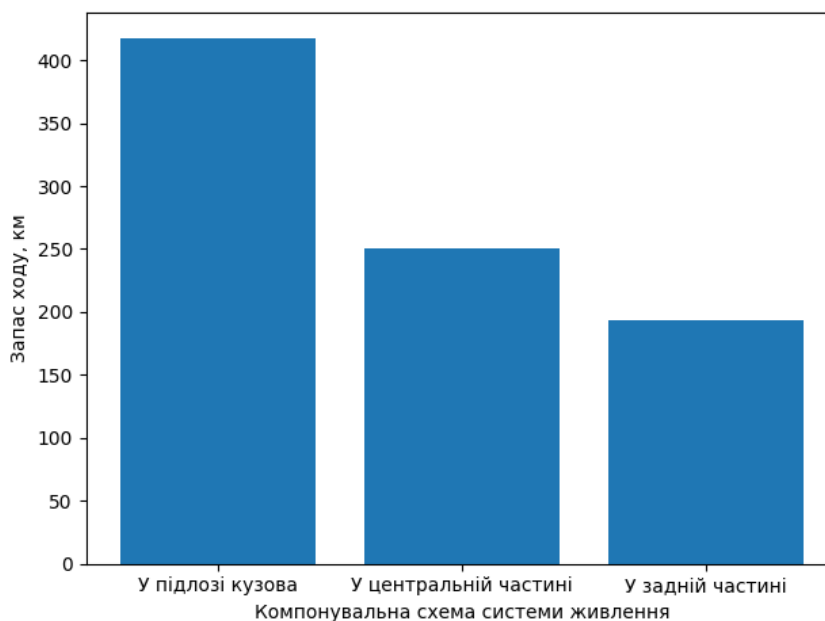


Рисунок 3.2 – Порівняльна радарна діаграма якісних показників систем живлення електромобілів

На рисунку 3.3 наведено порівняння розрахункового запасу ходу електромобіля для різних компоновальних схем систем живлення. Як видно з діаграми, система з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова забезпечує максимальний запас ходу, що пояснюється більшою енергетичною ємністю батареї та ефективнішим використанням її маси. Центральне та заднє розміщення батареї мають суттєво менші значення запасу ходу, що обмежує експлуатаційні можливості електромобіля.



Рисунок 3.3 – Порівняння розрахункового запасу ходу електромобіля для різних компоновальних схем систем живлення

Система живлення з центральним розміщенням акумуляторної батареї займає проміжне положення на всіх наведених діаграмах. Це підтверджує, що дана компоновальна схема є компромісним рішенням, доцільним у випадках використання існуючих платформ або в гібридних транспортних засобах, де передня частина автомобіля зайнята двигуном внутрішнього згоряння та допоміжними системами. Незважаючи на прийнятні показники, дана схема поступається підлоговому розміщенню за ключовими критеріями.

Система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в задній частині кузова демонструє найнижчі результати за більшістю показників, що чітко відображено на рисунках 3.1–3.3. Низька сумарна рейтингова оцінка та

обмежений запас ходу свідчать про недоцільність використання такого рішення в сучасних електромобілях, за винятком окремих спеціалізованих або експериментальних випадків.

На підставі аналізу таблиці 3.2 та графічних матеріалів, наведених на рисунках 3.1–3.3, встановлено, що оптимальною системою живлення для сучасного електромобіля є система з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова. Саме ця компоновальна схема забезпечує найкраще поєднання енергетичних, експлуатаційних та безпекових характеристик і відповідає вимогам до електромобілів нового покоління.

Отриманий вибір є інженерно обґрунтованим та може бути використаний як основа для подальших технічних рішень у сфері проєктування та модернізації систем живлення електромобілів.

Висновок до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи виконано комплексне оцінювання та порівняльний аналіз систем живлення електромобілів на основі різних компоновальних схем розміщення акумуляторної батареї. Для цього сформовано систему кількісних і якісних критеріїв, що дозволяє об'єктивно оцінювати енергетичні, експлуатаційні та безпекові показники систем живлення.

У підрозділі 3.1 визначено основні критерії оцінювання, серед яких енергетична ємність, маса батарейної системи, питома енергоємність, запас ходу, а також показники впливу на центр мас, умови охолодження, пожежну безпеку та зручність технічного обслуговування. Такий підхід дозволив перейти від описового аналізу до кількісного та рейтингового порівняння.

У підрозділі 3.2 проведено порівняльний аналіз систем живлення з використанням числових значень і бальної оцінки. Отримані результати показали, що компоновальна схема з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова має найвищі показники за більшістю критеріїв, зокрема за

запасом ходу, ефективністю використання маси та рівнем безпеки. Центральне розміщення батареї характеризується середніми значеннями і може розглядатися як компромісне рішення, тоді як заднє розміщення демонструє найгірші результати за сукупністю показників.

У підрозділі 3.3 результати аналізу узагальнено з використанням діаграм, що наочно підтвердили перевагу системи живлення з підлоговим розміщенням акумуляторної батареї. Графічне представлення дозволило чітко показати інтегральну перевагу обраної компоновальної схеми та обґрунтувати її вибір з інженерної точки зору.

Таким чином, за результатами третього розділу встановлено, що оптимальною системою живлення для сучасного електромобіля є система з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова. Вона забезпечує найкраще поєднання енергетичних, експлуатаційних і безпекових характеристик та відповідає сучасним тенденціям розвитку електромобільного транспорту. Отримані висновки створюють основу для подальшого розгляду питань охорони праці та економічної ефективності, що будуть викладені в наступних розділах дипломної роботи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

У процесі експлуатації, технічного обслуговування та ремонту електромобілів персонал піддається впливу специфічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, пов'язаних з наявністю високовольтних систем живлення, акумуляторних батарей та силової електроніки. Тому питання охорони праці при роботі з електромобілями набувають особливої актуальності та потребують детального аналізу.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі з системами живлення електромобілів

Основними небезпечними факторами при роботі з системами живлення електромобілів є ураження електричним струмом, термічні опіки, пожежна небезпека та вплив шкідливих хімічних речовин, що можуть виділятися у разі пошкодження акумуляторної батареї. Особливу небезпеку становлять високовольтні ланцюги з напругою 400–800 В, які застосовуються в сучасних електромобілях.

Крім електричної небезпеки, існує ризик термічного розгону акумуляторних батарей, що може призвести до загоряння або вибуху. Такі ситуації можливі при механічному пошкодженні батареї, короткому замиканні або порушенні системи охолодження. Для систематизації небезпечних факторів наведено таблицю 4.1.

Для наочного відображення рівня небезпеки доцільно використати діаграму розподілу ризиків за ступенем небезпеки, де найбільший рівень відповідає електричному та пожежному факторам.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі фактори при роботі з електромобілями

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Ураження електричним струмом	Високовольтна система живлення	Травми, летальні випадки
Пожежа	Акумуляторна батарея	Загоряння, вибух
Термічний вплив	Перегрів батареї	Опіки
Хімічний вплив	Пошкодження елементів батареї	Отруєння, подразнення

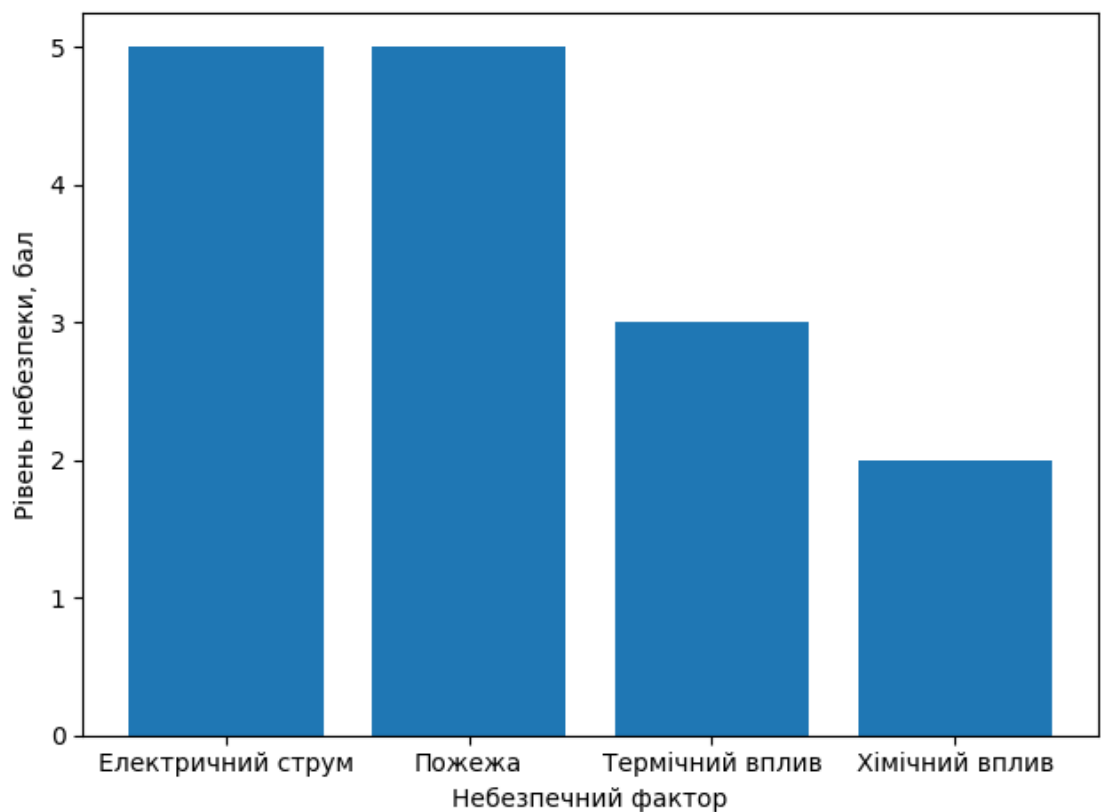


Рисунок 4.1 – Розподіл рівня безпеки основних факторів при роботі з електромобілями.

4.2 Вимоги безпеки при обслуговуванні та ремонті систем живлення електромобілів

Для зниження рівня виробничого ризику при роботі з електромобілями необхідно дотримуватись комплексу організаційних і технічних заходів безпеки. Перед початком будь-яких робіт з системою живлення електромобіля обов'язковим є відключення високовольтної батареї та перевірка відсутності напруги.

Персонал, який виконує обслуговування та ремонт електромобілів, повинен пройти спеціальне навчання та мати відповідну групу з електробезпеки. Забороняється виконувати роботи з високовольтними елементами без застосування засобів індивідуального захисту. Основні вимоги безпеки наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні вимоги охорони праці при роботі з системами живлення електромобілів

Вимога	Мета	Очікуваний результат
Відключення високовольтної батареї	Усунення напруги	Запобігання ураженню струмом
Застосування ЗІЗ	Захист персоналу	Зниження травматизму
Навчання персоналу	Підвищення кваліфікації	Безпечне виконання робіт
Контроль температури батареї	Запобігання перегріву	Зменшення пожежної небезпеки

Для оцінювання ефективності заходів безпеки може бути використана порівняльна діаграма «рівень ризику до та після впровадження заходів охорони праці».

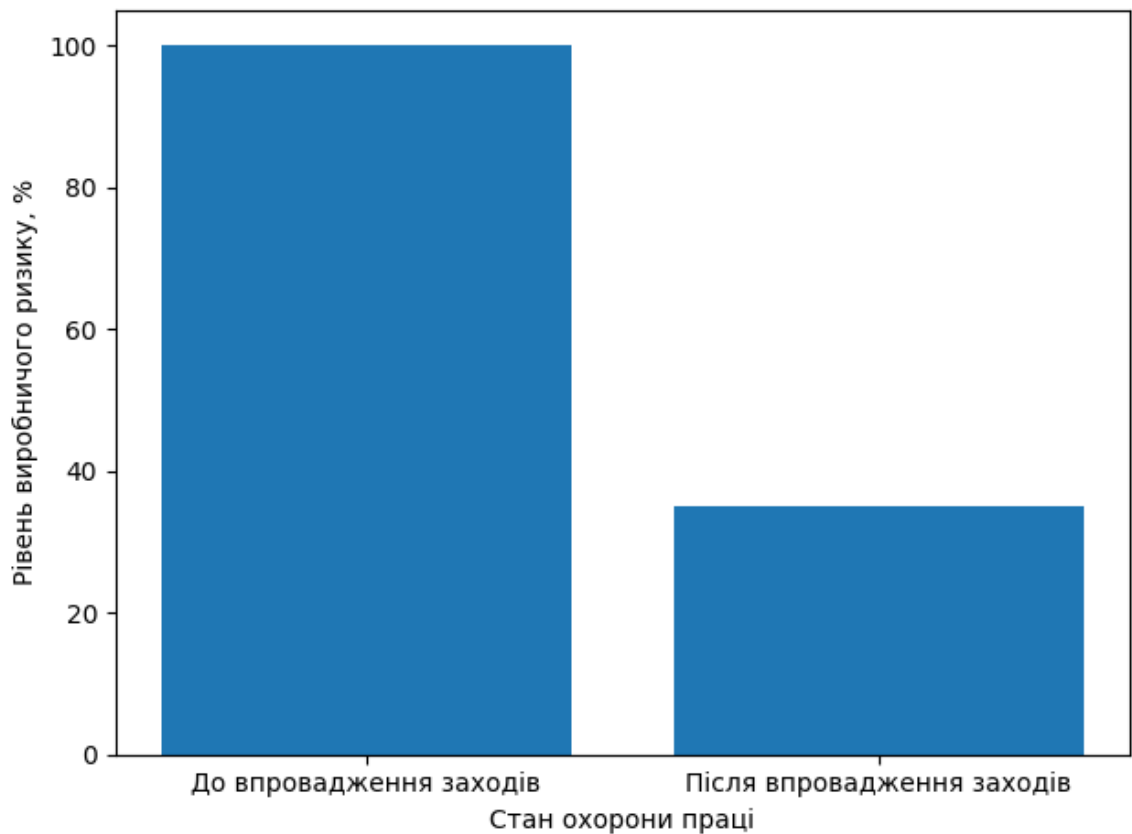


Рисунок 4.2 – Зміна рівня виробничого ризику при впровадженні заходів охорони праці

4.3 Пожежна безпека та дії персоналу в аварійних ситуаціях

Пожежна безпека при експлуатації електромобілів має особливе значення через специфіку акумуляторних батарей. У разі виникнення аварійної ситуації персонал повинен діяти відповідно до затверджених інструкцій, що передбачають евакуацію людей, знеструмлення обладнання та виклик аварійних служб.

Гасіння пожежі електромобіля має виконуватись з урахуванням типу акумуляторної батареї. У деяких випадках допускається застосування води у великих об'ємах для охолодження батареї та припинення термічного розгону.

Основні дії персоналу при аварійних ситуаціях наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Дії персоналу при аварійних ситуаціях з електромобілями

Аварійна ситуація	Дії персоналу	Мета
Пожежа батареї	Евакуація, виклик ДСНС	Захист життя
Перегрів батареї	Відключення живлення	Запобігання загорянню
Ураження струмом	Надання першої допомоги	Зменшення наслідків

Для наочного подання алгоритму дій доцільно використати блок-схему реагування персоналу в аварійних ситуаціях.

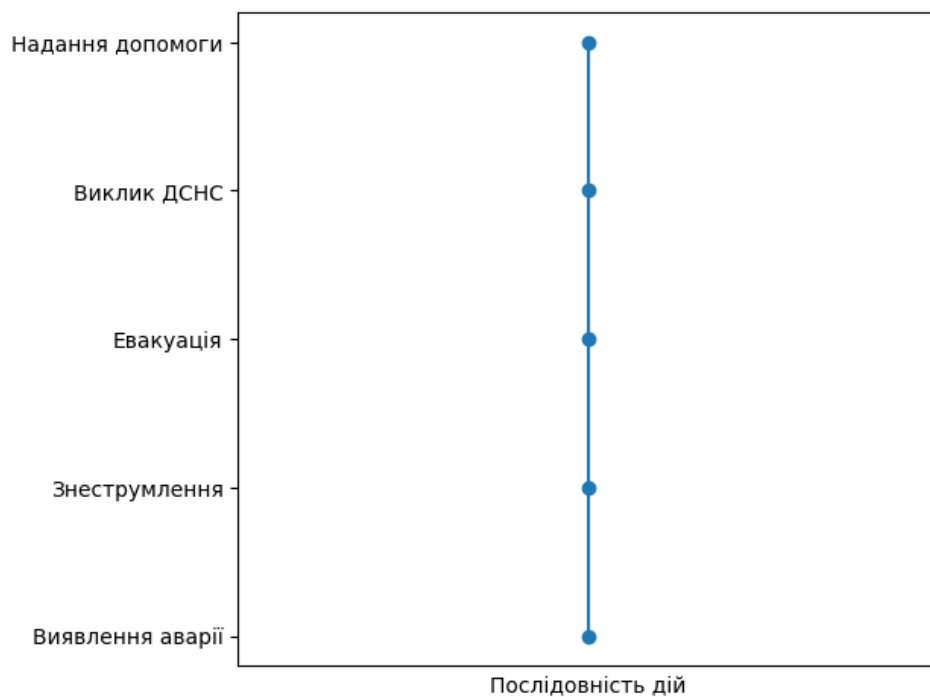


Рисунок 4.3 – Алгоритм дій персоналу при аварійних ситуаціях з електромобілем

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Економічна оцінка є важливим етапом при виборі оптимальної системи живлення електромобіля, оскільки технічно ефективне рішення повинно бути також економічно доцільним. У даному розділі проведено спрощене економічне обґрунтування вибору системи живлення з урахуванням вартості основних компонентів, експлуатаційних витрат та впливу компоувальної схеми на загальні витрати протягом життєвого циклу електромобіля.

5.1 Порівняльна оцінка вартості систем живлення електромобілів

Вартість системи живлення електромобіля визначається насамперед ціною акумуляторної батареї, системи керування, охолодження та конструктивних елементів, пов'язаних з її розміщенням. Компонувальна схема безпосередньо впливає на складність конструкції батарейного пакета та, відповідно, на його собівартість.

Для порівняльної оцінки прийнято умовний електромобіль одного класу з різними варіантами розміщення акумуляторної батареї. Вартісні показники наведені у відносних одиницях, що дозволяє оцінити економічну доцільність без прив'язки до конкретного виробника.

Таблиця 5.1 – Порівняльна вартість систем живлення залежно від компоувальної схеми

Компоувальна схема	Вартість батареї	Вартість системи охолодження	Конструктивні витрати	Загальна вартість системи
У підлозі кузова	Висока	Середня	Високі	Висока
У центральній частині	Середня	Середня	Середні	Середня
У задній частині	Низька	Низька	Низькі	Низька

Незважаючи на вищу початкову вартість системи живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова, таке рішення забезпечує кращі технічні характеристики, що впливає на подальші експлуатаційні витрати. Центральне та заднє розміщення батареї характеризуються нижчою початковою вартістю, однак мають обмеження щодо енергетичної ємності та довговічності.

Для наочного порівняння загальної вартості систем живлення доцільно використати стовпчикову діаграму відносної вартості для різних компоновальних схем.

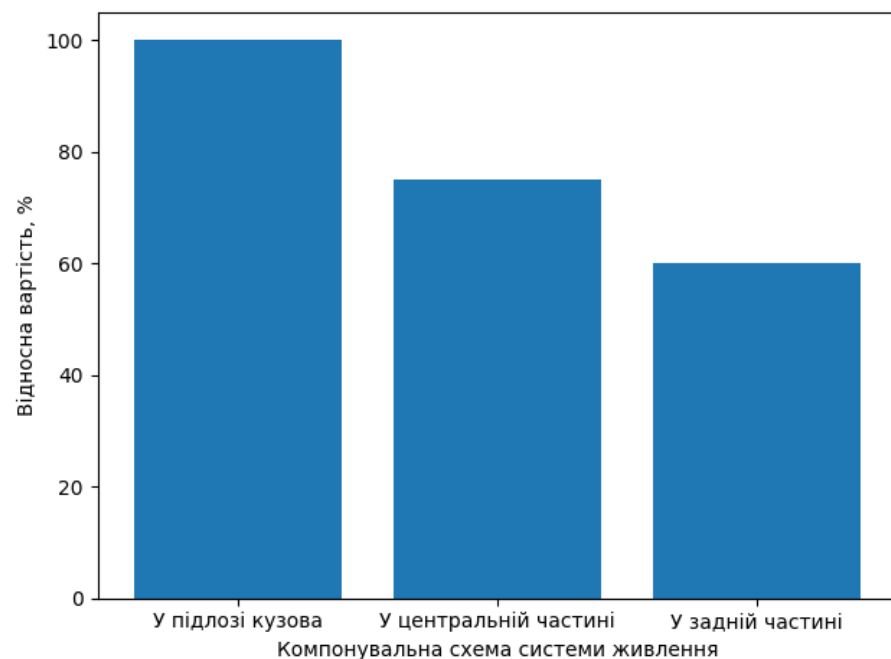


Рисунок 5.1 – Порівняння відносної вартості систем живлення електромобілів

5.2 Економічна ефективність вибору оптимальної системи живлення

Економічна ефективність системи живлення електромобіля визначається не лише початковими витратами, але й експлуатаційними показниками, такими як енергоспоживання, ресурс акумуляторної батареї та витрати на технічне обслуговування. Система живлення з більшим запасом

ходу та кращими умовами охолодження забезпечує стабільніші характеристики протягом тривалого часу експлуатації.

Для оцінювання експлуатаційних витрат використовується показник витрат електроенергії на 100 км пробігу, який визначається за формулою

$$C_e = q \cdot C_k, \quad (5.1)$$

де, C_e – витрати на електроенергію, грн/100 км;

q – питомі витрати енергії, кВт·год/100 км;

C_k – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

За рахунок більш ефективного використання енергії та кращого теплового режиму акумуляторної батареї система живлення з підлоговим розміщенням дозволяє зменшити деградацію батареї та витрати на її заміну протягом життєвого циклу електромобіля.

Порівняльна оцінка економічної ефективності різних систем живлення наведена в таблиці.

Таблиця 5.2 – Порівняння економічної ефективності систем живлення електромобілів

Компонувальна схема	Початкові витрати	Експлуатаційні витрати	Термін служби батареї	Загальна економічна ефективність
У підлозі кузова	Високі	Низькі	Високий	Висока
У центральній частині	Середні	Середні	Середній	Середня
У задній частині	Низькі	Вищі	Нижчий	Низька

Для узагальнення результатів доцільно використати діаграму, яка відображає співвідношення початкових та експлуатаційних витрат для різних систем живлення.

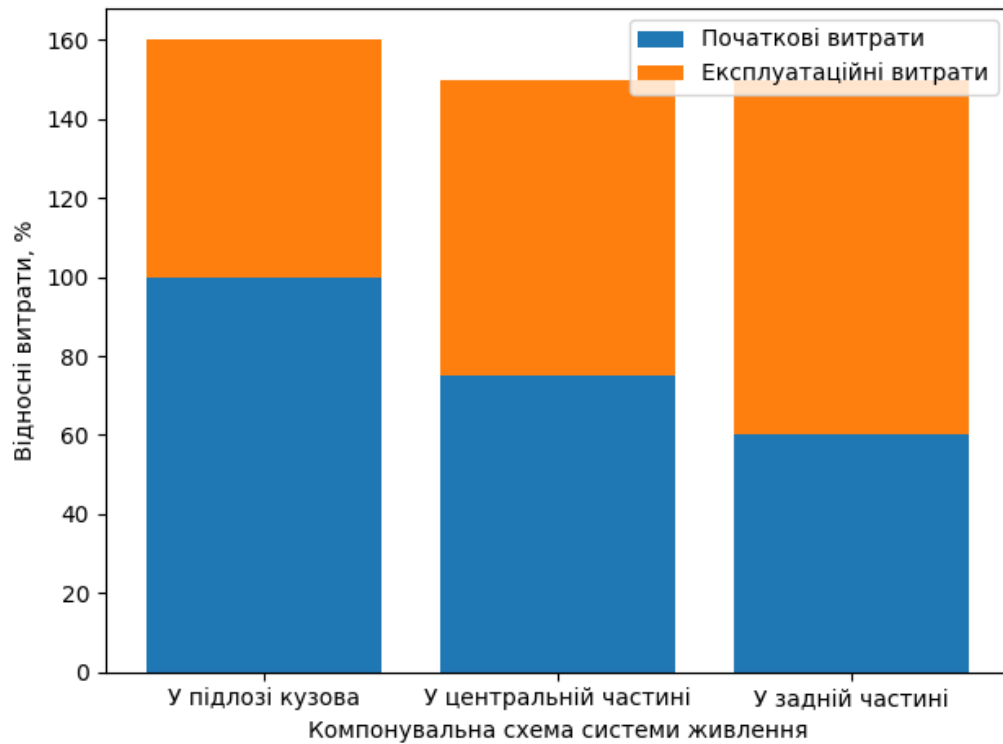


Рисунок 5.2 – Порівняння економічної ефективності систем живлення електромобілів

Таким чином, з урахуванням як початкових, так і експлуатаційних витрат встановлено, що система живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова є економічно доцільною у довгостроковій перспективі. Незважаючи на більшу початкову вартість, вона забезпечує зменшення експлуатаційних витрат та більший ресурс акумуляторної батареї, що підтверджує правильність її вибору з техніко-економічної точки зору.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексний аналіз систем живлення електромобілів з метою обґрунтованого вибору оптимального рішення на основі аналізу їх компоновальних схем. Розгляд проблеми проведено з позицій технічної доцільності, безпеки експлуатації та економічної ефективності, що дозволило отримати цілісне уявлення про вплив системи живлення на основні характеристики електромобіля.

У першому розділі обґрунтовано актуальність розвитку електромобільного транспорту та показано визначальну роль системи живлення у формуванні технічних і експлуатаційних параметрів електромобіля. Встановлено, що компоновальна схема системи живлення є одним з ключових факторів, який впливає на запас ходу, керованість, безпеку та енергоефективність транспортного засобу.

У другому розділі проаналізовано склад і принцип роботи систем живлення електромобілів, а також розглянуто основні компоновальні схеми розміщення акумуляторних батарей. Показано, що розміщення батареї в підлозі кузова, у центральній частині або в задній частині автомобіля суттєво впливає на центр мас, умови охолодження, пожежну безпеку та зручність технічного обслуговування. На основі порівняльного аналізу встановлено, що підлогове розміщення акумуляторної батареї є найбільш збалансованим з технічної точки зору.

У третьому розділі сформовано систему критеріїв оцінювання систем живлення та виконано кількісне і рейтингове порівняння різних компоновальних схем. Використання розрахункових показників, таблиць і діаграм дозволило наочно підтвердити перевагу системи живлення з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова за запасом ходу, ефективністю використання маси, рівнем безпеки та експлуатаційною надійністю. Обґрунтовано вибір даної системи як оптимальної для сучасних електромобілів.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки при експлуатації електромобілів. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані з високовольтними системами живлення, та запропоновано заходи зниження виробничих ризиків. Показано, що дотримання вимог охорони праці та правил пожежної безпеки є обов'язковою умовою безпечної експлуатації і технічного обслуговування електромобілів.

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування вибору системи живлення. Встановлено, що незважаючи на вищі початкові витрати, система живлення з підлоговим розміщенням акумуляторної батареї є економічно доцільною у довгостроковій перспективі за рахунок зниження експлуатаційних витрат та більшого ресурсу акумуляторної батареї.

За результатами виконаної роботи встановлено, що оптимальною системою живлення для сучасного електромобіля є система з розміщенням акумуляторної батареї в підлозі кузова. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні нових електромобілів, модернізації існуючих конструкцій та в навчальному процесі при вивченні дисциплін, пов'язаних з електромобільним транспортом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов А. В. Гібридні транспортні засоби : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2022. 210 с.
2. Гнатов А. В. Будова гібридних автомобілів і електромобілів : конспект лекцій з дисципліни. Харків : ХНАДУ, 2021. 72 с.
3. Міронов Д. В. Конспект лекцій з дисципліни «Електричні та гібридні транспортні засоби» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / укл. Д. В. Міронов. Тернопіль : ТНТУ, 2024. 154 с.
4. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С., Іванова Г. П. Акумуляторні батареї електромобілів: технічні та екологічні аспекти. Наука та прогрес транспорту. 2025. № 2 (110). С. 36–48. DOI: 10.15802/stp2025/332155.
5. Багач Р. В. Дослідження акумуляторних блоків електромобілів та зарядних станцій на основі активного трифазного випрямляча струму. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2023. № 24. С. 62–71. DOI: 10.30977/VEIT.2023.24.0.2.
6. Смирнов О. П., Борисенко А. О. Порівняльний аналіз електричних моделей літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2023. № 24. С. 50–61. DOI: 10.30977/VEIT.2023.24.0.5.
7. Малий Г. М., Шевченко О. В. Електротранспорт: сучасні тенденції розвитку. Автомобільний транспорт. 2023. № 48. С. 45–52.
8. Кушка М. М., Криворот А. І. Огляд акумуляторних батарей електромобілів. Тези 76-ї наук. конф. викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава, 14 трав. – 23 трав. 2024 р.). Полтава : НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. Т. 1. С. 268–270.

9. Олексів О. П. Обґрунтування полегшеної системи живлення електромобіля : кваліфікаційна робота. Львів : Львівський національний університет природокористування, 2024.
10. Хахула В. І. Підвищення техніко-економічних показників ефективності використання електричних батарей електромобілів : кваліфікаційна робота. Львів : Львівський національний університет природокористування, 2024.
11. Особливості формування ринку електромобілів в Україні в сучасних умовах / М. Деліні, І. Салій. (Стаття у фаховому виданні) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eco-science.net/wp-content/uploads/2024/11/11.24-2._topic_Maryna-Dielini-Ivan-Salii-136-143.pdf (дата звернення: 19.12.2025).
12. Електромобільність в Україні: реалії розвитку, європейський контекст і вплив воєнного стану [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/384201831_Elektromobilnist_v_Ukraini_realii_rozvitku_evropejskij_kontekst_i_vpliv_voennogo_stanu (дата звернення: 19.12.2025).
13. Ринок електромобілів в Україні: підсумки 2024 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eauto.org.ua/news/743-rinok-elektromobiliv-v-ukrajini-pidsumki-2024-roku> (дата звернення: 19.12.2025).
14. Український ринок електрокарів у 2024 році став... (аналітична публікація) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://m.autoconsulting.ua/news/default/view/56824> (дата звернення: 19.12.2025).
15. Бажинов О. В., Кравцов М. М. Небезпека транспортних засобів : монографія. Харків : ЧП Стариченко Л. А., 2022. 160 с.
16. Линник І. Е., Лежнева О. І., Дорожко Є. В. та ін. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу : монографія. Харків : «Смугаста типографія», 2020. 194 с.

17. Собкевич О. В., Шевченко А. В., Русан В. М. та ін. Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України : аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2024. 104 с. DOI: 10.53679/NISS-analytrep.2024.03.
18. Global EV Outlook 2024. Paris : International Energy Agency, 2024. 174 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVOutlook2024.pdf> (дата звернення: 19.12.2025).
19. Про встановлення тарифу на послуги з передачі електричної енергії НЕК «УКРЕНЕРГО» на 2025 рік : постанова НКРЕКП від 19.12.2024 № 2200 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vstanovlennya-tarifu-na-poslugi-z-peredachi-elektrichnoyi-energiyi-nek-ukrenergo-na-2025-rik> (дата звернення: 19.12.2025).
20. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.