

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“___” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Аналіз методики розрахунку електромеханічної
частини електротранспорту
Analysis of the methodology for calculating the
electromechanical part of electric transport»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕНМ-23М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Юрій ЯЛОВЕНКО
«___» _____ 2024 р.

Керівник роботи
к.т.н, доцент
_____ Олександр СІРІКОВ
«___» _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Яловенка Юрія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Аналіз методики розрахунку електромеханічної частини електротранспорту

Analysis of the methodology for calculating the electromechanical part of electric transport

2. Керівник роботи Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 02.12.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є аналіз методики розрахунку електромеханічної частини електротранспорту.

Завдання роботи: методика розрахунку електромеханічної частини електротранспорту; електрообладнання електромобіля; розрахунок електромеханічної частини електротранспорту; техніко-економічне порівняння варіантів використання електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>07.10.24</i>	
2	<i>Методика розрахунку електромеханічної частини електротранспорту</i>	<i>09.10.24</i>	
3	<i>Електрообладнання електромобіля</i>	<i>21.10.24</i>	
4	<i>Розрахунок електромеханічної частини електротранспорту</i>	<i>28.10.24</i>	
5	<i>Техніко-економічне порівняння варіантів використання електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання</i>	<i>04.11.24</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>11.11.24</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>18.11.24</i>	
8	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації до неї</i>	<i>25.11.24</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Яловенко Ю.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Яловенко Ю.С. Аналіз методики розрахунку електромеханічної частини електротранспорту.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024.

Останні зміни в галузі електричного транспорту тісно пов'язана з удосконаленням хімічних джерел струму, зокрема із застосуванням літію, який створив справно революцію. Електричний транспорт стає конкурентоспроможним порівняно з автомобілями, оснащеними двигунами внутрішнього згорання. Здешевлення літієвих акумуляторів призводить до підвищення доступності електромобілів все більшій кількості споживачів.

На сьогодні бракує простої та доступної методології розрахунку електромеханічної частини електротранспорту, яка б дозволила точно визначати його технічні характеристики та обґрунтовано підбирати необхідне обладнання, таке як електродвигун, інвертор, параметри акумуляторної батарея тощо.

В зв'язку зі збільшенням доступності електротехнічного обладнання для електромобілів з'явилася стійка тенденція, як до переобладнання улюблених автомобілів з двигунами внутрішнього згорання на електричну тягу, так і до конструювання простих електричних транспортних засобів на кшталт скутерів, самокатів, велосипедів. В більшості випадків переобладнання або конструювання електротранспорту здійснюється без належного методичного підходу, використовуючи доступні компоненти без проведення інженерних розрахунків.

Таким чином, розробка простої та доступної методології розрахунку електромеханічної частини електротранспорту є важливим та актуальним науково-практичним завданням.

Ключові слова: електротранспорт, методика розрахунку, тягові характеристики, електромеханічне обладнання.

ABSTRACT

Yalovenko Yu.S. Analysis of the methodology for calculating the electromechanical part of electric transport.

Qualification work for the second (master's) level of higher education in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Energy Management», Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

Recent changes in the field of electric transport are closely related to the improvement of chemical current sources, in particular, with the use of lithium, which has created a real revolution. Electric transport is becoming competitive compared to cars equipped with internal combustion engines. The reduction in the price of lithium batteries leads to an increase in the availability of electric vehicles for an increasing number of consumers.

Today, there is a lack of a simple and affordable methodology for calculating the electromechanical part of electric transport, which would allow to accurately determine its technical characteristics and reasonably select the necessary equipment, such as an electric motor, inverter, battery parameters, etc.

Due to the increase in the availability of electrical equipment for electric vehicles, a steady trend has emerged, both to convert beloved cars with internal combustion engines to electric traction, and to design simple electric vehicles such as scooters, mopeds, bicycles. In most cases, the re-equipment or design of electric vehicles is carried out without a proper methodological approach, using available components without engineering calculations.

Thus, the development of a simple and accessible methodology for calculating the electromechanical part of electric vehicles is an important and relevant scientific and practical task.

Key words: electric transport, calculation method, traction characteristics, electromechanical equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	11
1.1. Загальні передумови використання електротранспорту	11
1.2. Загальна структура електромобіля	12
1.3. Вибір електродвигуна	23
1.3.1. Загальні види електродвигунів	23
1.3.2. Методика розрахунку електродвигуна	28
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ	31
2.1. Вибір контролера	31
2.2. Вибір акумуляторної батареї	32
2.2.1. Основні типи акумуляторних батарей електромобілів	32
2.2.2. Розрахунок реальної ємності акумуляторної батареї	34
2.2.3. Розрахунок максимальної потужності, що віддається АКБ	36
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	38
3.1. Коефіцієнт аеродинамічного опору повітря	38
3.2. Лобова площа автомобіля	40
3.3. Коефіцієнт корисної дії трансмісії	42
3.4. Інші характеристики транспортних засобів та параметри руху	42
3.5. Розрахунок параметрів електродвигуна.	46
3.5.1. Розрахунок стартового моменту електродвигуна.	47
3.5.2. Розрахунок параметрів електродвигуна при рівномірному руху по горизонтальній поверхні з максимальною швидкістю.	48
3.5.3. Розрахунок параметрів електродвигуна при прискоренні.	49
3.5.4. Вибір електродвигуна.	51
3.5.5. Розрахунок параметрів акумуляторної батареї.	52
3.6. Загальні висновки за результатами розрахунку.	52

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ	54
4.1. Основні аспекти техніко-економічного порівняння	54
4.2. Визначення капіталовкладень та усереднених річних поточних витрат для індивідуального автотранспорту	56
4.3. Розрахунок економічної ефективності заміщення привідної системи автомобіля на основі ДВЗ на систему на основі електроприводу	57
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації автонавантажувачів, електронавантажувачів та електрокарів.	61
5.2. Безпечна експлуатації літій-іонних, літій-фосфатних акумуляторних батареї в електромобілях.	62
5.3. Техніка безпеки при роботі з акумуляторними батареями	64
5.4. Способи безпечної утилізації акумуляторних батарей	65
5.5. Електротравми. Види ураження електричним струмом.	67
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

Транспортна галузь світової економіки залишається крупним споживачем енергії, що споживає біля 1/3 всієї енергії, що виробляється людством. Якщо в промисловості та побутовому секторі існує можливість відносного вибору джерела енергії або палива, запровадження заходів з енергозбереження, що дають суттєвий ефект зниження енергоспоживання, то транспортна галузь залишається фактично безальтернативним споживачем продуктів нафтової переробки без можливості суттєвого зниження енергоспоживання за рахунок енергозбереження. В той же час існують певні тенденції, що намічають революцію в транспортній галузі пов'язану з розвитком електротранспорту.

Сучасна революція в автомобільному електричному транспорті пов'язана саме з розвитком хімічних джерел струму з використанням літію, а саме літій-іонних, літій-полімерних та літій-залізо-фосфатних акумуляторів. Достатня кількість циклів «заряд-розряд» так, наприклад, для літій-залізо-фосфатних акумуляторів сягає 8000 при ощадливому використанні з втратою ємності лише 20%, та висока щільність енергії 90–250 Вт·ч/кг дозволяє створити ефективний електричний транспорт, що здатен конкурувати з транспортом на двигунах внутрішнього згорання. Саме тому з'явилися нові вже відомі бренди електромобілів такі як Tesla. Відомі автомобільні гіганти такі, як Nissan, Renault, Volkswagen, Chevrolet, Ford, BMW, Fiat, Mitsubishi та інші, почали випускати в своїх лінійках автомобілі з повністю електричним приводом. Керувати електромобілем стало не тільки престижно, а і економічно вигідно. До того ж вартість електромобіля з невеликим запасом ходу вже спів розмірна з вартістю його бензинового аналогу.

До недоліків сучасних електромобілів слід все ж таки віднести їх високу вартість, що обумовлено високою вартістю акумуляторної батареї та невеликий запас ходу та одній зарядці, що робить обмеженим використання електромобілів лише для поїздок в межах міста.

З метою підтримання розвитку електромобільного транспорту в Україні Верховною радою скасований податок на додану вартість та акцизний збір при покупці імпортованих електромобілів. За прогнозами експертів, скасування податків вже до 2025 року збільшить частку електромобілів на українському ринку до 10%. Це дозволить значно скоротити витрати держави та громадян на іноземне паливо. Так попит на електромобілі в Україні за 2018 рік збільшився в 1,5 рази. На 1 травня 2018 року в Україні зареєстровано 7439 електромобілів. Кількість електричних заправок стрімко зростає.

Через високу вартість електромобілів відомих брендів зростає популярність переобладнання традиційних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння на електричну тягу. В Україні з'явилися як приватні компанії, що надають такі послуги за кошти замовника, так і незалежні майстри. Промисловість почала випускати спеціальні «стартові» комплекти для переобладнання автомобілів на електротягу, наприклад, електрифікаційні набори від Golden Motor. Проте в більшості випадків такі модифікації виконуються без чіткої методології. Роботи здійснюються із використанням доступних матеріалів і пристроїв, часто без попередніх інженерних розрахунків, що може призводити до технічних проблем, таких як поломки контролерів, двигунів або навіть займання акумуляторів. На сьогодні відсутня достатньо розроблена методика для розрахунку електромеханічної частини електротранспорту, яка б дозволяла точно визначити його технічні характеристики та обрати відповідне обладнання (електродвигун, контролер, інвертор, акумулятори тощо). Розробка такої методології є важливим завданням для забезпечення надійності та безпеки подібних переобладнань. Отже, аналіз методики проектування електромеханічної частини електротранспорту є важливою науково-практичною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є аналіз методики проектування електромеханічної частини електротранспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

1. Проаналізувати методику проектування електромеханічної частини електротранспорту, на основі якої можна провести необхідні розрахунки по вибору елементів електромеханічної частини електротранспорту та визначити її характеристики.

2. Виконати техніко-економічний аналіз різних варіантів реалізації індивідуального автотранспорту з приводами на базі електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання..

Об'єкт дослідження проектування електромеханічної частини електротранспорту.

Предмет дослідження аналіз методика проектування електромеханічної частини електротранспорту.

Методи дослідження – аналіз та математичне моделювання при оцінці методики розрахунку електромеханічної частини електротранспорту, техніко-економічному порівнянні варіантів використання електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання для автотранспорту.

Основні наукові результати роботи: проведений аналіз методика проектування електромеханічної частини електротранспорту показав, що вона дозволяє провести розрахунки, як по вибору електротехнічного обладнання, так і по визначенню тягово-електричних характеристики його роботи.

Основні практичні результати роботи:

– проаналізована методика проектування електромеханічної частини електротранспорту дозволяє провести розрахунки по вибору електротехнічного обладнання електромобіля та визначити його тягово-електричні характеристики;

– наведена методика та проведений розрахунок техніко-економічного порівнянні варіантів використання електродвигуна та двигуна внутрішнього згорання для автотранспорту.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

1.1. Загальні передумови використання електротранспорту

Загальні передумови широкого впровадження електротранспорту порівняно з транспортом із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) можна виділити наступні:

1. Екологічні передумови

- Зменшення забруднення повітря. Електромобілі не мають вихлопних газів, що допомагає зменшити рівень шкідливих викидів у атмосферу (CO_2 , NO_x , твердих частинок).

- Боротьба зі зміною клімату. Використання електротранспорту знижує залежність від викопних видів палив, сприяючи зменшенню вуглецевого сліду.

- Менше шумове забруднення. Електродвигуни працюють значно тихіше порівняно з ДВЗ.

2. Енергетичні передумови

- Ефективніше використання енергії. Електродвигуни мають ККД до 95%, тоді як у ДВЗ він становить лише 20–30%.

- Відновлювані джерела енергії. Електротранспорт можна заряджати від джерел зеленої енергії (сонячної, вітрової, гідроенергії), зменшуючи залежність від нафти.

- Розвиток інфраструктури: Зростає кількість зарядних станцій, що підтримують швидку зарядку.

3. Економічні передумови

- Низька вартість експлуатації. Вартість зарядки електромобіля суттєво нижча за витрати на пальне для ДВЗ.

- Мінімізація витрат на обслуговування. Електродвигуни мають простішу конструкцію, менше деталей, що піддаються зносу.

- Стимулювання з боку держави. У багатьох країнах існують податкові пільги, субсидії та інші стимули для власників електротранспорту.

4. Соціально-технологічні передумови

- Розвиток технологій акумуляторів. Сучасні батареї забезпечують більший запас ходу та швидке заряджання.

- Зростання популярності. Підвищення свідомості населення щодо екології сприяє популяризації електротранспорту.

- Збільшення різноманітності моделей. Ринок електромобілів постійно розширюється, пропонуючи більше варіантів для споживачів.

5. Інфраструктурні передумови

- Зростання інвестицій у зарядні станції. Покращення доступності зарядних пунктів робить електромобілі більш зручними.

- Енергетична незалежність. Електротранспорт дозволяє зменшити залежність від імпорту нафти та пального.

6. Регуляторні та стратегічні передумови

- Політика декарбонізації. Уряди багатьох країн встановлюють дедлайни для припинення продажу автомобілів із ДВЗ.

- Міські обмеження для ДВЗ. У багатьох містах вводяться зони з низьким рівнем викидів, де дозволено рух лише електромобілям.

Отже, основними передумовами для переходу на електротранспорт є екологічна безпека, енергетична ефективність, економічна доцільність і розвиток сучасної інфраструктури. Однак цей перехід потребує подальшого вдосконалення акумуляторних технологій та розширення зарядних мереж.

1.2. Загальна структура електромобіля

Хоча електромобілі є інноваційним видом транспорту, багато з них насправді базуються на вже існуючих конструкціях автомобілів з двигунами внутрішнього згорання. Кузови, шасі та інші механічні компоненти часто запозичуються з серійних моделей. Лише невелика частина електромобілів, таких як GM EV1 або Honda EV-plus [24], була розроблена виключно як

Фільтр: Згладжує пульсації випрямленого струму, забезпечуючи стабільну напругу на виході.

Регулятор зарядного струму (напруги): Контролює швидкість заряджання, запобігаючи перегріву та пошкодження батареї.

Система управління зарядом: Мікропроцесорна система, яка відстежує стан батареї, температуру, напругу, струм і керує процесом заряджання відповідно до заданих алгоритмів. Вона також відповідальна за захист батареї від перенапруги, короткого замикання та інших аварійних ситуацій.

Комунікаційні інтерфейси: Забезпечують взаємодію ЗП з бортовим комп'ютером електромобіля та зовнішніми системами заряджання.

Розглянемо спрощений принцип роботи зарядного пристрою електромобіля. Змінний струм з електромережі подається на вхід ЗП, де випрямляється і фільтрується. Отриманий постійний струм подається на регулятор, який змінює свою провідність, підтримуючи задану величину зарядного струму або напруги. Система управління моніторить стан батареї та керує роботою регулятора, забезпечуючи оптимальний режим заряджання.

ЗП може бути як вбудованим в електромобіль, так і зовнішнім. Вбудовані ЗП дозволяють заряджати автомобіль від будь-якої стандартної розетки, але мають обмежену потужність. Зовнішні зарядні пристрої, як правило, мають більшу потужність і використовуються для швидкого заряджання на спеціальних станціях.

2) Пристрій захисту (блок реле і запобіжників). Електромобіль обладнаний системою захисту, яка включає вимикачі, реле та запобіжники. Вони розташовані між акумулятором і іншими електричними компонентами, такими як фари, двигун тощо. У разі виникнення несправності, наприклад, короткого замикання, ці пристрої розривають електричний ланцюг, захищаючи акумулятор і запобігаючи пошкодженню інших елементів. Для додаткової безпеки, в електромобілях використовується повна ізоляція всіх електричних компонентів від металевого корпусу. Це означає, що навіть якщо станеться пошкодження ізоляції в одному місці, це не призведе до

серйозних наслідків, оскільки для виникнення короткого замикання необхідний пробій ізоляції в двох точках.

3) Тягова акумуляторна батарея. Вона є серцем електромобіля, забезпечуючи енергією електричний двигун. Вона перетворює хімічну енергію на електричну, яка потім використовується для руху автомобіля.

Основні характеристики тягових батарей:

- Енергоємність: Визначає, на яку відстань зможе проїхати електромобіль на одному заряді.
- Потужність: Впливає на динаміку розгону та здатність долати підйоми.
- Цикли заряджання/розряджання: Кількість повних циклів, які батарея може витримати до значної втрати ємності.
- Швидкість заряджання: Час, за який батарею можна зарядити до певного рівня.
- Вага та розміри: Впливають на загальну масу автомобіля та об'єм багажного відділення.
- Вартість: Значно впливає на кінцеву вартість електромобіля.
- Безпека: Батарея повинна бути безпечною в експлуатації та не представляти загрози для навколишнього середовища.

Найбільш поширені типи тягових батарей для електромобілів:

- Літій-іонні: Найпопулярніший тип, який характеризується високою енергоємністю, швидким заряджанням та тривалим терміном служби. Розрізняють кілька підтипів: NMC, NCA, LFP, кожен з яких має свої переваги та недоліки.
- Літій-полімерні: Подібні до літій-іонних, але мають інший електроліт. Відрізняються більшою гнучкістю та меншою вагою.
- Нікель-металгідридні: Більш старий тип, який поступово витісняється літій-іонними батареями.

– Свинцево-кислотні: Застосовуються в деяких гібридних автомобілях та електромобілях низького класу. Мають низьку енергоємність та короткий термін служби.

Кожен тип акумулятора має свої переваги та недоліки. Наприклад, літій-іонні батареї мають високу енергоємність, але можуть бути дорогими і вибухонебезпечними при неправильній експлуатації. LFP-батареї більш безпечні, але мають меншу енергоємність.

Вибір оптимального типу акумулятора залежить від багатьох факторів:

– Пробіг: Для щоденних поїздки на невеликі відстані достатньо батареї з меншою ємністю. Для далеких поїздки потрібна батарея з більшою ємністю.

– Вартість: Чим більша ємність батареї, тим вона дорожча.

– Швидкість заряджання: Якщо важлива можливість швидко зарядити автомобіль, варто звернути увагу на моделі з підтримкою швидкого заряджання.

– Кліматичні умови: Низькі температури можуть негативно впливати на ємність батареї.

– Технічні характеристики автомобіля: Вага, розміри, потужність двигуна також впливають на вибір батареї.

4) Бортовий комп'ютер в електромобілі – це, по суті, його "мозок". Це потужний мікропроцесор, який постійно збирає та аналізує інформацію від різних датчиків, що розташовані по всьому автомобілю. Завдяки цьому він забезпечує ефективну роботу всіх систем електромобіля та безпеку водія та пасажирів.

Основні функції бортового комп'ютера:

– Моніторинг стану батареї: Постійно відстежує рівень заряду, температуру, напругу та інші параметри батареї. Залежно від отриманих даних, комп'ютер оптимізує процес заряджання та розряджання для максимальної ефективності та довговічності батареї.

– Керування електродвигуном: Регулює потужність, що подається на електродвигун, залежно від режиму руху (акселерація, круїз-контроль, рекуперативне гальмування).

– Керування кліматичною системою: Оптимізує роботу кондиціонера або обігрівача, враховуючи зовнішню температуру та бажані параметри салону.

– Діагностика системи: Постійно сканує всі системи електромобіля на наявність помилок та несправностей. У разі виявлення проблем, комп'ютер може вивести відповідне повідомлення на дисплей або активувати звуковий сигнал.

– Захист системи: В разі виникнення аварійних ситуацій (наприклад, перегріву батареї, короткого замикання) бортовий комп'ютер ініціює необхідні захисні заходи, такі як відключення живлення, активація аварійної сигналізації тощо.

– Інтерфейс користувача: Забезпечує взаємодію водія з автомобілем через дисплей та кнопки управління. На дисплеї відображається інформація про стан автомобіля, витрату енергії, дальність пробігу та інші параметри.

– Інтеграція з іншими системами: Бортовий комп'ютер може інтегруватися з різними додатковими системами, такими як навігаційна система, система активної безпеки, система заряджання тощо.

Принцип роботи бортового комп'ютера полягає в наступному: він отримує дані від численних датчиків, розташованих по всьому автомобілю. Ці датчики вимірюють температуру, тиск, швидкість обертання, струм, напругу та інші параметри. Отримані дані обробляються за допомогою спеціальних алгоритмів, і на їх основі комп'ютер приймає рішення про управління різними системами електромобіля.

5) Додаткове джерело електроенергії (допоміжна акумуляторна батарея на 12 В). 12-вольтова акумуляторна батарея є невід'ємною частиною більшості сучасних електромобілів, незважаючи на наявність основної тягової батареї високої напруги. Її функції можуть здатися незначними на тлі

потужної тягової батареї, проте вона відіграє критичну роль у забезпеченні роботи багатьох систем електромобіля.

Допоміжна акумуляторна батарея забезпечує сумісність із традиційними системами автомобіля. Багато систем в електромобілі, таких як освітлення, склопідйомники, аудіосистема, були розроблені для автомобілів із традиційними двигунами внутрішнього згорання і розраховані на напругу 12 В. Також вона забезпечує роботу систем під час заряджання: Коли електромобіль підключений до зарядного пристрою, основна тягова батарея може бути відключена від бортової мережі. У такому випадку 12-вольтова батарея забезпечує живлення всіх систем, які необхідні для комфорту водія та пасажирів. У разі виникнення проблем з основною тяговою батареєю або системою управління, 12-вольтова батарея може забезпечити мінімальну функціональність електромобіля, наприклад, відкриття дверей або активацію аварійної сигналізації.

б) Система клімат-контролю в електромобілі відповідає за підтримання комфортної температури та вологості в салоні автомобіля. На відміну від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згорання, де тепло для обігріву салону виробляється двигуном, електромобілі використовують електричну енергію з акумулятора.

Основні компоненти системи клімат-контролю:

- Кондиціонер: Використовує фреон для охолодження повітря, яке потім подається в салон.

- Електроопалювач: Перетворює електричну енергію на тепло, обігрівуючи повітря, що подається в салон.

- Вентилятор: Забезпечує циркуляцію повітря в салоні.

- Датчики температури та вологості: Відстежують температуру та вологість в салоні та за його межами.

- Блок управління: Опрацьовує дані від датчиків і керує роботою кондиціонера, електроопалювача та вентилятора для досягнення заданої температури.

7) Електронний контролер електродвигуна – це "мозок", який керує роботою електричного двигуна в електромобілі. Він перетворює постійний струм від акумулятора в змінний струм потрібної частоти і амплітуди, який живить електродвигун. Завдяки цьому контролер дозволяє плавно регулювати швидкість обертання двигуна та створюваний ним крутний момент.

Основні функції контролера:

- Формування напруги живлення: Контролер створює змінну напругу необхідної частоти та амплітуди для живлення електродвигуна. Частота визначає швидкість обертання двигуна, а амплітуда – його крутний момент.

- Регулювання швидкості обертання: Залежно від сигналу, отриманого від педалі акселератора або інших датчиків, контролер змінює частоту напруги, що подається на двигун, тим самим регулюючи його швидкість обертання.

- Регулювання крутного моменту: Змінюючи амплітуду напруги, контролер змінює крутний момент, що розвивається двигуном. Це дозволяє забезпечити плавне розганяння та гальмування електромобіля.

- Захист двигуна: Контролер постійно моніторить різні параметри, такі як температура двигуна, струм, напруга. У разі перегріву або перевантаження, контролер відключає двигун для запобігання його пошкодження.

- Рекуперативне гальмування: Під час гальмування електродвигун працює в генераторному режимі, перетворюючи кінетичну енергію автомобіля в електричну енергію, яка заряджає акумулятор. Контролер керує цим процесом.

Переваги електронних контролерів.

- Висока ефективність: Сучасні контролери мають дуже високий коефіцієнт корисної дії, що дозволяє знизити витрати енергії.

- Плавне керування: Забезпечують плавне розганяння, гальмування та зміну напрямку руху.

- Компактні розміри: Сучасні контролери мають невеликі габарити і вагу.

- Можливість інтеграції з іншими системами: Контролери можуть легко інтегруватися з іншими системами електромобіля, такими як система управління батареєю, навігаційна система тощо.

8) Електродвигун – це основний компонент електромобіля, який перетворює електричну енергію з акумулятора на механічну енергію обертання коліс. Саме завдяки йому електромобілі можуть рухатися плавно та безшумно.

Хоча колись використовувалися звичайні електродвигуни постійного або змінного струму, сучасні електромобілі, як правило, оснащуються спеціалізованими електродвигунами змінного струму. Вони мають ряд переваг:

- Висока ефективність: Здатні перетворювати більшу частину електричної енергії в механічну, що збільшує пробіг на одному заряді.

- Стабільні характеристики: Забезпечують рівномірний крутний момент у широкому діапазоні швидкостей, що покращує динаміку розгону та плавність руху.

- Компактні розміри: Можуть бути виконані в більш компактних розмірах порівняно з двигунами внутрішнього згорання, що дозволяє оптимізувати простір під капотом.

- Відсутність шкідливих викидів: Не виробляють шкідливих речовин, що робить їх екологічно чистими.

Переваги електромобілів з електродвигунами змінного струму

- Висока потужність: Здатні розвивати велику потужність при компактних розмірах.

- Широкий діапазон швидкостей: Можуть працювати в широкому діапазоні швидкостей, що дозволяє оптимізувати споживання енергії.

- Висока точність керування: Завдяки електронним системам управління дозволяють точно регулювати швидкість і крутний момент.

Отже, електродвигун змінного струму є серцем сучасного електромобіля. Завдяки своїм характеристикам він забезпечує високу ефективність, плавність ходу та динаміку. Постійний розвиток технологій дозволяє створювати все більш досконалі електродвигуни, що робить електромобілі все більш конкурентоспроможними.

9) Механічна трансмісія. Головна відмінність електромобіля від автомобіля з ДВЗ полягає в тому, що електродвигун забезпечує значний крутний момент практично з нульових оборотів. Це означає, що електромобілю не потрібна коробка передач для того, щоб забезпечити плавне розганяння та зміну швидкості. Тому електромобілі, як правило, мають простішу конструкцію трансмісії, оскільки відсутня необхідність у складних механізмах перемикання передач. Відсутність механічної трансмісії підвищує ефективність електромобіля, оскільки зменшується кількість рухомих частин і втрати на тертя.

Хоча механічна трансмісія в класичному розумінні електромобілю не потрібна, деякі моделі можуть мати спрощену трансмісію, яка виконує такі функції:

- Зміна передатного числа: У деяких випадках може використовуватися одна передача з фіксованим передатним числом для оптимізації роботи електродвигуна при різних швидкостях руху.

- Підключення декількох електродвигунів: У деяких моделях електромобілів може бути кілька електродвигунів, які підключаються до трансмісії для забезпечення повного приводу або підвищення потужності.

- Редуктор: Більшість електромобілів використовують редуктор, який змінює швидкість обертання і крутний момент електродвигуна, адаптуючи його до вимог дороги.

Отже, хоча механічна трансмісія в традиційному розумінні в електромобілі не потрібна, деякі спрощені варіанти трансмісії можуть використовуватися для оптимізації роботи електромобіля.

10) Водійські органи управління електромобілем. Основні органи управління:

Педалі:

- Педаль акселератора: В електромобілі вона виконує ту ж функцію, що й у традиційному автомобілі – збільшує швидкість руху. Однак, оскільки електродвигун забезпечує миттєвий крутний момент, реакція на натискання педалі може бути ще більш чутливою.

- Гальмівна педаль: Зазвичай, в електромобілях реалізована комбінована гальмівна система, яка поєднує традиційні гальма з рекуперативним гальмуванням. Це дозволяє відновлювати частину енергії під час гальмування та збільшувати запас ходу.

- Важіль управління стоянковим гальмом. Зазвичай електромеханічний.

Кермове управління за принципом роботи мало відрізняється від традиційних автомобілів. Однак, завдяки відсутності валу кардана, може бути реалізовано більш точне і легке керування. У багатьох електромобілях присутні системи підсилення керма, які можуть адаптуватися до швидкості руху та умов дороги.

Додаткові органи управління:

- Селектор передач: У деяких моделях електромобілів використовується селектор передач, який дозволяє вибирати режими руху (Drive, Reverse, Neutral). Однак, в багатьох сучасних моделях цей елемент відсутній, оскільки режими руху вибираються за допомогою кнопок або сенсорного екрану.

Кнопки і перемикачі:

- Режим руху: Вибір режимів Eco, Normal, Sport, що впливають на динаміку розгону і чутливість педалі акселератора.

- Рекуперативне гальмування: Регулювання інтенсивності рекуперативного гальмування.

- Клімат-контроль: Управління системою кондиціонування та обігріву.

- Мультимедіа: Управління аудіосистемою, навігацією та іншими функціями.

11) Колеса електромобіля перетворюють обертальний рух електродвигуна на поступальний рух автомобіля.

1.3. Вибір електродвигуна

Для вибору оптимального електродвигуна необхідно провести порівняльний аналіз різних типів електродвигунів, здійснити розрахунок їхніх параметрів та обрати варіант, який найбільш відповідає вимогам завдання за критеріями потужності, швидкості, крутного моменту, ККД, габаритів, вартості та умов експлуатації.

1.3.1. Загальні види електродвигунів

1. Традиційна конструкція з окремим електродвигуном і колесом

Електродвигун в цьому випадку розташований окремо від коліс і приводиться в рух через трансмісію.

Переваги:

- Проста конструкція: Більш схожа на конструкцію традиційних автомобілів, що полегшує виробництво та ремонт.

- Більше місця в салоні: Оскільки електродвигун розташований окремо, є більше простору для компонування салону.

Недоліки:

- Втрати на трансмісії: Частина енергії втрачається на тертя в елементах трансмісії.

- Більша вага: Трансмісія додає вагу автомобілю.

2. Мотор-колеса

Електродвигун вбудований безпосередньо в колесо.

Переваги:

- Висока ефективність: Відсутність трансмісії мінімізує втрати енергії.

- Компактність: Займає менше місця в автомобілі.

- Висока маневреність: Кожне колесо може керуватися окремо, що покращує маневреність.

Недоліки:

- Більш складна конструкція: Виробництво мотор-колес є більш технологічним і дорогим процесом.

- Обмеження за розміром: Розмір мотор-колеса обмежується розміром колеса, що може вплинути на діапазон швидкостей.

- Ремонт: У разі поломки мотор-колеса його заміна може бути більш складною і дорогою.

Порівняльна таблиця характеристик обох типів електродвигунів, що застосовуються в електромобілях наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Порівняльна таблиця

Характеристика	Окремий електродвигун і колесо	Мотор-колесо
Ефективність	Нижча через втрати в трансмісії	Вища, відсутні втрати в трансмісії
Маса	Більша через наявність трансмісії	Менша
Розмір	Більше місця в салоні	Компактніша конструкція
Маневреність	Нижча	Вища
Вартість	Дешевше у виробництві	Дорожче у виробництві

Вибір між окремим електродвигуном і мотор-колесом залежить від багатьох факторів, таких як:

- Призначення автомобіля: Для міських автомобілів з акцентом на маневреність і компактність краще підходять мотор-колеса. Для автомобілів з високою прохідністю можуть бути більш доцільними окремі електродвигуни.

– Вартість: Мотор-колеса дорожчі у виробництві, що відбивається на загальній вартості автомобіля.

– Технологічний рівень виробництва: Не всі виробники мають необхідні технології для виробництва мотор-колес високої якості.

Зараз обидва варіанти активно використовуються в електромобілях, і кожен з них має свої переваги і недоліки.

Сучасні електромобілі, що масово виробляються, в основному використовують три основні типи електродвигунів. Кожен з них має свої особливості, переваги та недоліки, які впливають на характеристики електромобіля. Розглянемо детальніше кожен тип:

1. Асинхронні електродвигуни (АД)

Працюють на основі електромагнітної індукції. Ротор такого двигуна складається з алюмінієвих або мідних стрижнів, закорочених з одного кінця, які замикаються короткозамкненими кільцями. Коли по обмотках статора протікає змінний струм, у роторі індукується струм, який створює магнітне поле, що взаємодіє з магнітним полем статора.

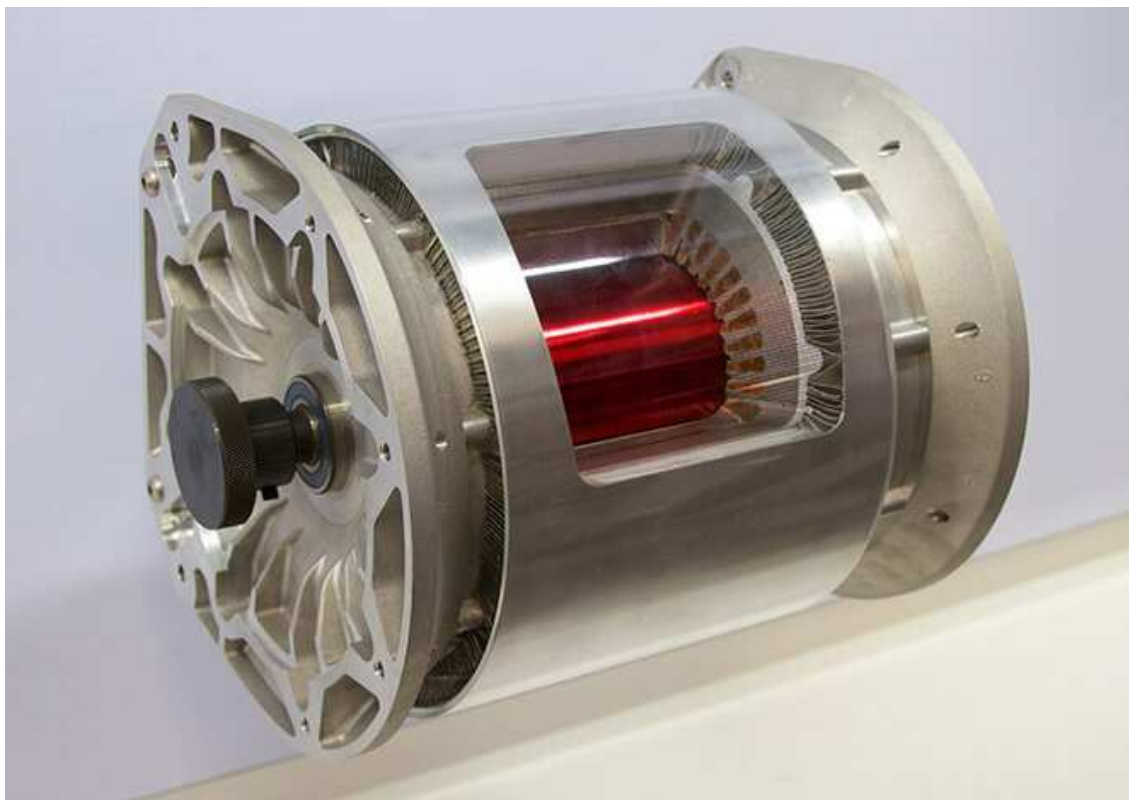


Рис. 1.2. Асинхронний двигун

Переваги:

- Проста конструкція і висока надійність.
- Не вимагають додаткових комутаційних пристроїв.
- Можуть працювати в широкому діапазоні швидкостей.

Недоліки:

- Нижчий ККД порівняно з синхронними двигунами.
- Можуть мати більші габарити і вагу.

2. Синхронні електродвигуни зі змінним струмом (СД)

Ротор такого двигуна має постійні магніти або обмотки збудження постійного струму. Обертання ротора синхронізоване з обертанням магнітного поля статора.

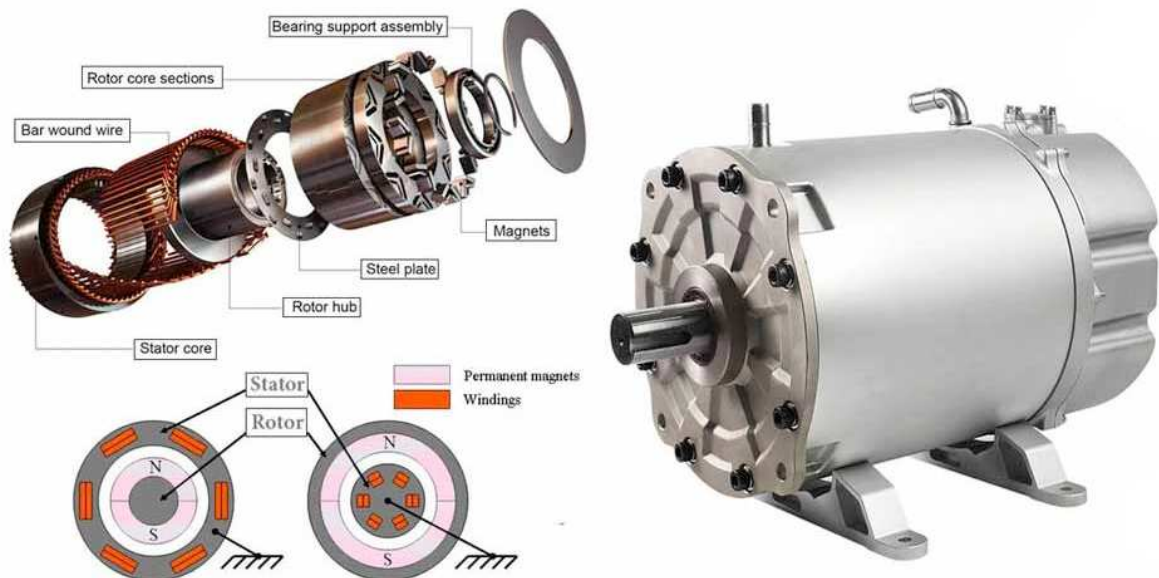


Рис. 1.3. Синхронний автомобільний електродвигун

Переваги:

- Високий ККД.
- Можливість реалізації широкого діапазону швидкостей обертання.
- Висока точність регулювання швидкості.

Недоліки:

- Більш складна конструкція порівняно з АД.
- Вища вартість виробництва.

3. Колекторні електродвигуни постійного струму

Такі двигуни мають колектор (комутатор), який забезпечує підведення постійного струму до обмоток якоря. Взаємодія магнітного поля статора і якоря створює обертальний момент.

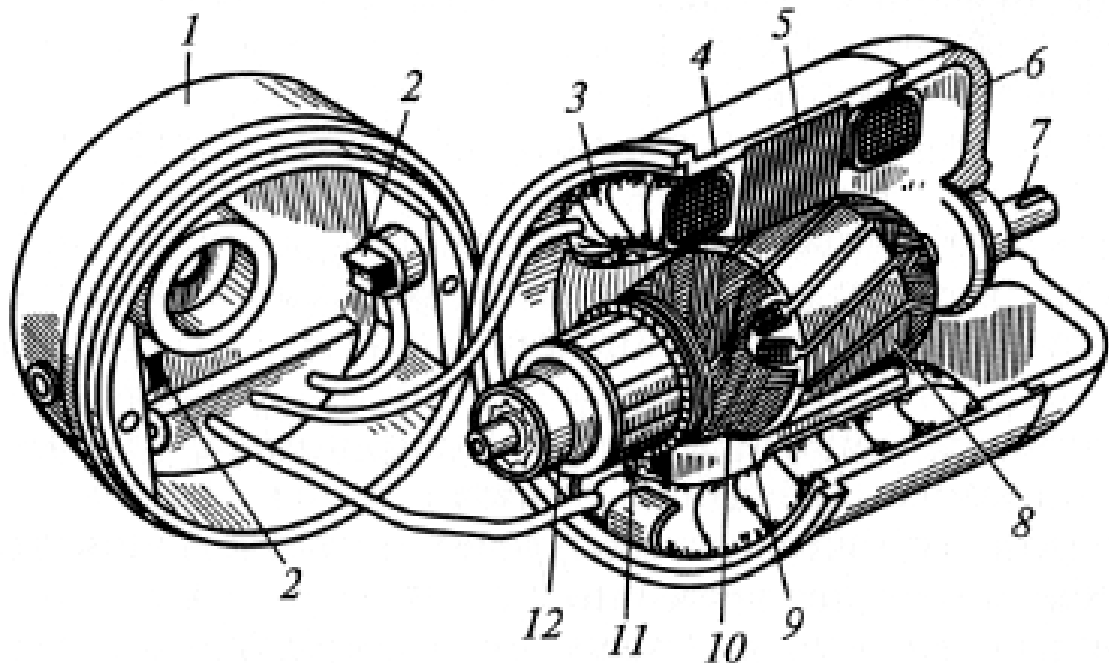


Рис. 1.4. Колекторний двигун постійного струму

1 – передній щит; 2 – колекторні щітки; 3 – обмотка полюсу; 4 – корпус двигуна, 5 – статор; 6 – задній щит; 7 – вал, 8 – осердя якоря; 9 – полюс; 10 – обмотка якорю; 11 – колекторний вузол; 12 – підшипник.

Переваги:

- Проста конструкція.
- Високий пусковий момент.

Недоліки:

- Нижчий ККД порівняно з АД і СД.
- Вимагають регулярного обслуговування колектора.
- Схильні до іскріння при комутації.

Вибір конкретного типу електродвигуна залежить від багатьох факторів, таких як:

– Призначення електромобіля: Для міських автомобілів з акцентом на маневреність можуть підходити АД, а для спортивних автомобілів з високими динамічними характеристиками – СД.

– Вартість: АД, як правило, менша, ніж СД.

– Технологічний рівень виробництва: Не всі виробники мають необхідні технології для виробництва СД високої якості.

Сьогодні все частіше виробники електромобілів віддають перевагу синхронним електродвигунам зі змінним струмом завдяки їх високій ефективності та можливості реалізації широкого діапазону характеристик.

1.3.2. Методика розрахунку електродвигуна

Для правильного вибору двигуна електромобіля потрібно знати такі характеристики як номінальна і пікова потужності, а також значення крутного моменту і частоти обертання валу. Номінальна потужність використовується для підтримки заданої постійної швидкості. Пікова потужність потрібно для розгону електромобіля. Знання потужних характеристик двигуна потрібно для розрахунку параметрів акумуляторної батареї і контролера. Знання крутного моменту і частоти обертання валу електродвигуна потрібно для визначення параметрів редуктора і вибору самого двигуна.

Для розрахунку частоти обертання двигуна необхідної для руху скористаємося формулою:

$$v = (2\pi \cdot r \cdot n \cdot 3,6) / (u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) \quad (1.1)$$

де: v – швидкість руху, км/год;

r – радіус ведучого колеса, м;

n – частота обертання валу електродвигуна, об./с;

$u_{\text{кп}}$ – передавальне число коробки передач та/або редуктора;

$u_{гп}$ – передавальне число головної передачі (при використанні редуктора приймається рівним одиниці).

З (1.1) після перетворень отримаємо потрібну нам формулу для розрахунку частоти обертання валу електродвигуна:

$$n = (v \cdot u_{кп} \cdot u_{гп}) / (2\pi \cdot r \cdot 3,6) \quad (1.2)$$

Формула (1.2) дозволяє задавшись значенням максимальної швидкості руху транспортного засобу та передаточного числа трансмісії (яка є відомою та наводиться в довідковій літературі на транспортний засіб) розрахувати максимальну частоту обертання електродвигуна.

Розрахунок максимального крутного моменту викується дещо складніше. Наведемо формулу балансу сил, в скалярному вигляді необхідну для опису рівноприскореного руху транспортного засобу:

$$F_{тяги} = F_{кач.} + F_{під.} + F_{пов.} + F_{ін.} \quad (1.3)$$

де: $F_{тяги}$ – тяга на ведучих колесах;

$F_{кач.}$ – сила тертя коченню ведучих коліс;

$F_{під.}$ – сила опору підйому (подолання сили тяжіння);

$F_{пов.}$ – сила опору повітря;

$F_{ін.}$ – сила опору розгону (сила інерції).

Розписавши всі складові рівняння (1.3) отримаємо наступну формулу:

$$(\eta_{тр} \cdot M_e \cdot u_{кп} \cdot u_{гп}) / r = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + C_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2 / 2 + m \cdot a \cdot \sigma_{вр} \quad (1.4)$$

де: $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії транспортного засобу (для трансмісії легкового авто $\eta_{тр} = 0,9-0,92$);

M_e – крутний момент двигуна, Н·м;

$u_{кп}$ – передавальне число коробки передач;

$u_{гп}$ – передавальне число головної передачі;

r – радіус ведучого колеса, м;

f – коефіцієнт тертя кочення;

m – маса електромобіля, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

α – кут нахилу дороги;

C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору повітря (коефіцієнт обтічності), Н·с²/(м·кг);

S – лобова площа електромобіля (автомобіля), м². S є площею проекції кузова на площину, перпендикулярну поздовжньої осі.

ρ – щільність повітря;

v – розрахункова швидкість електромобіля (автомобіля), км/год;

a – потрібне прискорення електромобіля, м/с², розраховується шляхом ділення значення розрахункової швидкості на час t , необхідний на розгін до розрахункової швидкості;

σ – коефіцієнт обліку обертових мас.

Далі додамо відсутні елементи, адаптуємо формулу для розрахунку:

$$M_e = (fmg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha + C_x S \rho \cdot v^2 / 2 + m(v / (3,6 \cdot t)) \cdot (1,05 + 0,05 \cdot \eta_{кп})) \cdot r / (\eta_{тр} \cdot \eta_{кп} \cdot \eta_{гп}) \quad (1.5)$$

Потужність двигуна може бути визначена за формулою:

$$P = M \cdot \omega = \pi M \cdot n / 30, \quad (1.6)$$

де M – крутний момент, ω – кутова швидкість, n – частота обертання (число обертів за хвилину, об/хв).

Отже, формул (1.2), (1.5) та (1.6) достатньо для того, щоб розрахувати необхідні параметри електродвигуна.

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

2.1. Вибір контролера

Вибір контролера електродвигуна є критично важливим етапом при розробці або модифікації електромобіля. Контролер відповідає за управління роботою електродвигуна, забезпечуючи оптимальну потужність, ефективність та безпеку. Давайте розглянемо основні фактори, які необхідно враховувати при виборі контролера:

1. Сумісність з електродвигуном. Контролер повинен бути сумісний з типом електродвигуна (АД, СД, колекторний).

2. Потужність та струм

– Номінальна потужність: Контролер повинен забезпечувати достатню потужність для живлення електродвигуна в пікових режимах.

– Номінальний струм: Струм, який контролер може витримувати без перегріву, повинен відповідати або перевищувати номінальний струм двигуна.

3. Напруга живлення

– Напруга батареї: Контролер повинен бути розрахований на роботу з напругою батареї електромобіля.

– Діапазон робочої напруги: Важливо, щоб контролер міг працювати в заданому діапазоні напруги, який змінюється під час заряджання та розряджання батареї.

4. Частота комутації. Частота комутації впливає на ефективність роботи. Так вища частота комутації дозволяє досягти більш плавного регулювання швидкості та підвищити ККД.

5. Функціональність

– Регулювання швидкості: Контролер повинен забезпечувати плавне регулювання швидкості обертання двигуна.

– Захист від перевантажень: Функції захисту від перенавантаження, перегріву та короткого замикання є обов'язковими.

– Рекуперативне гальмування: Можливість реалізації рекуперативного гальмування для збільшення пробігу.

– Додаткові функції: Деякі контролери можуть мати додаткові функції, такі як контроль температури двигуна, діагностика помилок тощо.

6. Розміри та вага

– Габарити: Контролер повинен вміститися у відведений для нього простір в електромобілі.

– Вага: Вага контролера впливає на загальну масу автомобіля.

7. Вартість. Вартість контролера залежить від його функціональності, потужності та виробника.

8. Виробник та підтримка. Наявність документації та технічної підтримки: Важливо, щоб у вас була доступна детальна документація та можливість отримати технічну підтримку.

Вибір контролера електродвигуна є індивідуальним завданням і залежить від конкретних вимог до електромобіля.

2.2. Вибір акумуляторної батареї

2.2.1. Основні типи акумуляторних батарей електромобілів

Сучасні електромобілі переважно використовують літій-іонні акумулятори завдяки їх високій енергетичній щільності, довговічності та відносно невеликій вазі. Однак, існують й інші типи, які застосовувалися раніше або використовуються в певних нішах. Найпоширеніші типи:

– *Літій-іонні (Li-ion):*

Переваги: Висока енергетична щільність, довгий термін служби, широкий діапазон робочих температур, витримують велику кількість циклів заряджання-розряджання, підтримують технології швидкого заряджання.

Недоліки: Можуть перегріватися та вибухати при неправильній експлуатації, вартість.

Різновиди літій-іонних акумуляторів:

NMC (нікель-марганець-кобальт): Найпоширеніший тип в електромобілях, забезпечує високу енергетичну щільність.

NCA (нікель-кобальт-алюміній): Використовується в електромобілях Tesla, має високу енергетичну щільність.

LFP (літій-залізо-фосфатні): Відрізняються високою безпекою, довгим терміном служби, але мають нижчу енергетичну щільність.

– *Нікель-металгідридні (NiMH):*

Переваги: Вища енергетична щільність порівняно зі свинцево-кислотними, відсутність ефекту пам'яті.

Недоліки: Менша енергетична щільність порівняно з Li-ion, саморозряд.

Застосування: Раніше використовувалися в гібридних автомобілях, зараз зустрічаються рідше.

– *Свинцево-кислотні:*

Переваги: Низька вартість.

Недоліки: Велика вага, низька енергетична щільність, вимагають регулярного обслуговування.

Застосування: Рідко використовуються в сучасних електромобілях, частіше зустрічаються в стаціонарних системах живлення.

Вибір конкретного типу акумулятора для електромобіля залежить від таких факторів:

– Запас ходу: Для великого запасу ходу потрібна висока енергетична щільність.

– Вартість: Літій-залізо-фосфатні акумулятори, хоча й мають меншу енергетичну щільність, але більш доступні за ціною.

– Швидкість заряджання: Для швидкої зарядки потрібні акумулятори, які підтримують відповідні технології.

– Безпека: Для електромобілів безпека є пріоритетом, тому важливо вибирати акумулятори з високим рівнем безпеки.

2.2.2. Розрахунок реальної ємності акумуляторної батареї

Для вказівки номінальної ємності виробники використовують розрахунок струму, що видається акумулятором протягом стандартного часу (якщо не вказано значення цього часу в специфікаціях, то воно зазвичай дорівнює 20 годинам для великих акумуляторів). Тобто, якщо в маркуванні акумулятора зазначено, що його ємність дорівнює $100\text{А}\cdot\text{год}$, то це означає, що він може жити навантаження струмом 5А протягом 20 годин.

Вищевказані параметри непогані, але є одна не дуже приємна закономірність: чим більше навантаження на акумулятор, тим менший відсоток віддається ємності (акумулятор $100\text{А}\cdot\text{год}$ може видавати струм 100А не в протягом 1 години, а протягом набагато меншого часу - дуже може бути, і 30 хвилин).

Причина цього явища пов'язана з тим, що всередині акумулятора струм тече завдяки іонній провідності. Якщо іонна провідність електроліту досить висока і не несе особливого значення, то процес перенесення іонів всередині пластин акумулятора і подолання ними фазового розділу поверхню електрода через електроліт відбувається досить повільно. Тобто при швидкому розряді якась частина іонів не встигає вийти з електрода в електроліт (або увійти з електроліту в електрод) за час розряду, що обмежує ємність акумулятору, що видається.

Математична модель цього процесу була описана в 1897 році Пекертом (Peukert). Він емпірично встановив, що відношення між розрядним струмом I і часом розряду акумулятора T (від повністю зарядженого до повністю розрядженому) являє собою константне відношення, і може бути описано формулою:

$$C_p = I^n \cdot T \quad (2.4.1)$$

де C_p – ємність Пекерта (константне відношення для даного акумулятора);

n – експонента Пекерта.

Експонента Пекерта завжди більше одиниці, чим більше n , тим менше здатність акумулятора віддавати повну ємність при підвищеному навантаженні. Найменше значення експоненти Пекерта мають літій-залізні, літій-марганцевої, літій-полімерні і свинцево-кислотні акумулятори з електродами рулонного типу. Одне з найбільших значень n у недорогих тягових свинцево-кислотних батареях.

Експонента Пекерта зазвичай розраховується на підставі вимірювання часу повного розряду (T_1 і T_2) для двох різних струмів (I_1 і I_2). Для приблизних розрахунків можна використовувати таблиці або графіки розрядки, що надаються виробником акумулятора. Так як C_p – константа, ми можемо записати таке рівняння:

$$C_p = I_1^n \cdot T_1 = I_2^n \cdot T_2 \quad (2.1)$$

перетворюючи вираз, отримуємо формулу розрахунку експоненти Пекерта:

$$n = \log (T_2/T_1) / \log (I_1/I_2) \quad (2.2)$$

Грунтуючись на знанні значень експоненти Пекерта і ємності Пекерта можна розраховувати час роботи акумулятора при певному навантаженні:

$$T = C_p / I^n \quad (2.3)$$

Існуючі просунуті монітори стану батарей (в складі системи управління батареєю, BMS) в своїх розрахунках, швидше за все, використовують дані рівняння. Однак, все не так просто: зазвичай споживаний струм змінюється в часі, бувають тривалі перерви в роботі акумулятора, а також константні значення ємності та експоненти Пекерта

змінюються в процесі роботи акумулятора (і їх доводиться час від часу перераховувати для отримання реальних свідчень монітора).

Це особливо яскраво видно на прикладі "цифрового ефекту пам'яті" в літій-іонних батареях для ноутбуків – при експлуатації в умовах часткового заряду/розряду відзначається поступове зменшення часу роботи від акумуляторної батареї, через невідповідність ємності, що залишилася, розрахованої системою управління батареєю та реальної.

Описана вище система моніторингу досить складна, і багато виробників BMS, можливо, задовольняються вимірюванням швидкості падіння вольтажа на акумуляторі в процесі розряду. Для систем з приблизно постійним в часі навантаженням ці BMS повинні давати досить точні результати, і, в той же час, можуть посилювати ефект "цифрової пам'яті" при нерівномірному споживанні струму.

Цей ефект зазвичай використовують власники електромобілів з недорогими тяговими свинцево-кислотними акумуляторами - коли акумулятор сильно розряджений, а треба проїхати ще пристойну відстань, електромобіль зупиняють на узбіччі і чекають якусь кількість часу, поки не відновиться ємність батареї. Можна рухатися далі до наступної вимушеної стоянки, поки не вичерпається реальна ємність батареї. Ця ж причина стоїть на чолі того факту, що гольф-кари, з їх низькою швидкістю, можуть проїхати набагато більшу відстань, ніж електромобіль з акумулятором подібної ємності, але рухаючогося з більшою швидкістю (при їзді в реальних умовах також сильно впливає зростання опору повітря руху при великих швидкостях).

2.2.3. Розрахунок максимальної потужності, що віддається АКБ

Відповідно до закону Ома для повного кола чим більше значення внутрішнього опору r , тим менший струм може віддавати акумулятор. Так як ЕРС (E) можна прийняти як номінальну напругу ($U_{\text{ном}}$) на акумуляторі при

розімкнутому ланцюзі, то перепишемо закон Ома для повного кола в наступному вигляді:

$$U_{\text{ном}} = IR + Ir. \quad (2.4)$$

При навантаженні, через внутрішній опір, напруга на акумуляторі не повинна впасти, нижче U_{min} . Знаючи закон Ома для ділянки кола можна (2.4) переписати наступним чином:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{min}} + Ir. \quad (2.5)$$

Використовуючи отриманий результат, вже впевнено можна отримати значення максимального струму, який може видати акумулятор:

$$I = (U_{\text{ном}} - U_{\text{min}})/r \quad (2.6)$$

Потужність, споживана ділянкою кола дорівнює добутку сили струму на напругу, що подається на цю ділянку, можна дізнатися максимальну потужність, що видається акумулятором:

$$P_{\text{max}} = U_{\text{min}} \cdot (U_{\text{ном}} - U_{\text{min}})/r. \quad (2.7)$$

Це значення максимальної потужності, що видається коміркою. Для розрахунку максимальної потужності батареї необхідно помножити отримане значення для однієї комірки акумулятора на кількість комірок у батареї.

Під час навантаження йде розігрів акумулятора пропорційно квадрату сили струму та часу його роботи ($Q = I^2 \cdot r \cdot \Delta t$). Тобто, потрібно враховувати розігрів при проектуванні акумуляторної батареї, і, за необхідності, забезпечити правильну систему охолодження.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Для розрахунку електромеханічної частини необхідна задатися певними конструктивними характеристиками транспортного засобу для якого буде здійснюватися переобладнання.

До таких величин слід віднести:

- коефіцієнт аеродинамічного опору повітря,
- лобова площа автомобіля,
- розрахункова швидкість електромобіля,
- кут нахилу дороги,
- маса електромобіля,
- коефіцієнт корисної дії трансмісії,
- передавальне число коробки передач та головної передачі.

3.1. Коефіцієнт аеродинамічного опору повітря

В формулу (1.5) входить коефіцієнт аеродинамічного опору повітря руху транспортному засобу. Розглянемо більш детально, що це за коефіцієнт і від чого він залежить.

Коефіцієнт аеродинамічного опору (C_x) – це безрозмірна величина, яка характеризує, наскільки обтічним є тіло, що рухається в повітрі. Іншими словами, він показує, наскільки ефективно обтікає повітря поверхню тіла. Чим менше значення C_x , тим менший опір повітря чинить рухомому об'єкту. Тобто, чим менше C_x , тим краща аеродинаміка автомобіля. Для сучасних автомобілів $C_x < 0,3$.

Орієнтовні значення коефіцієнту аеродинамічного опору для транспортних засобів наведені в табл. 3.1, а в табл. 3.2 для деяких марок легкових автомобілів.

Таблиця 3.1. Орієнтовні значення коефіцієнту аеродинамічного опору повітря для різних типів транспортних засобів

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт опору повітря
Вантажні автомобілі:	
з кузовом фургон	0,8...1,0
бортові	0,9...1,15
цистерни, автокрани	0,9...1,1
Легкові автомобілі	0,3...0,6

Таблиця 3.2. Значення коефіцієнту аеродинамічного опору повітря для деяких марок легкових автомобілів

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт опору повітря
Toyota Camry і подібна модель Lexus ES, 2005	0,31
Porsche 997, 2004	0,28
Mercedes-Benz W124 Е-Клас, 1984	0,29
Toyota Camry Hybrid, 2007	0,27
Infiniti G35, 2002	0,27
Lexus LS 430, 2001	0,26
Mercedes-Benz W221 S-Клас, 2006	0,26
Audi A2 1.2 TDI, 2001	0,25
Toyota Prius, 2004	0,26
Mercedes-Benz W212 Е-Клас, 2009	0,25
Mercedes-Benz W204 С-Клас, 2007	0,25
Mercedes-Benz W207 Е-Клас Купе, 2009	0,24
Иж-412	0,41
Москвич-423	0,45
Москвич-2141	0,35
АЗЛК-2140	0,41
ЗАЗ-1102	0,37
ГАЗ-20 Победа	0,46
ГАЗ-24	0,48
ЗАЗ-968М	0,48
ВАЗ-2105	0,43
ВАЗ-2106	0,54
ВАЗ-2107	0,54
ВАЗ-2108	0,38
ВАЗ-2109	0,38

Коефіцієнт аеродинамічного опору (C_x) може бути обчислений, як відношення сили опору повітря руху автомобіля до сили опору руху циліндра:

$$C_x = F_{\text{auto}} / F_{\text{cylinder}} \cdot$$

Прямий розрахунок C_x є досить складним завданням і зазвичай виконується за допомогою комп'ютерного моделювання або експериментально в аеродинамічній трубі.

Фактори, що впливають на значення C_x :

- Форма тіла: Обтічна форма (як у краплі води) має менший C_x , ніж кутаста.
- Поверхня тіла: Гладка поверхня зменшує турбулентність потоку повітря і, відповідно, C_x .
- Кути атаки: Зміна кута атаки тіла відносно потоку повітря впливає на C_x .
- Шорсткість поверхні: Шорстка поверхня збільшує турбулентність і C_x .

3.2. Лобова площа автомобіля

В формулу (1.5) також входить лобова площа автомобіля. Розглянемо, що таке лобова площа автомобіля.

Лобова площа автомобіля – це проекція поверхні автомобіля на площину, перпендикулярну напрямку руху. Іншими словами, це площа, яка виникає, якщо ми уявимо, що автомобіль "сплюснули" у напрямку руху (рис. 3.1).

Лобова площа є одним з ключових параметрів, який впливає на аеродинамічний опір автомобіля. Чим більша лобова площа, тим більша поверхня стикається з потоком повітря під час руху, що призводить до збільшення сили опору.

Значення лобової площі для деяких марок легкових автомобілів наведено в табл. 3.3.

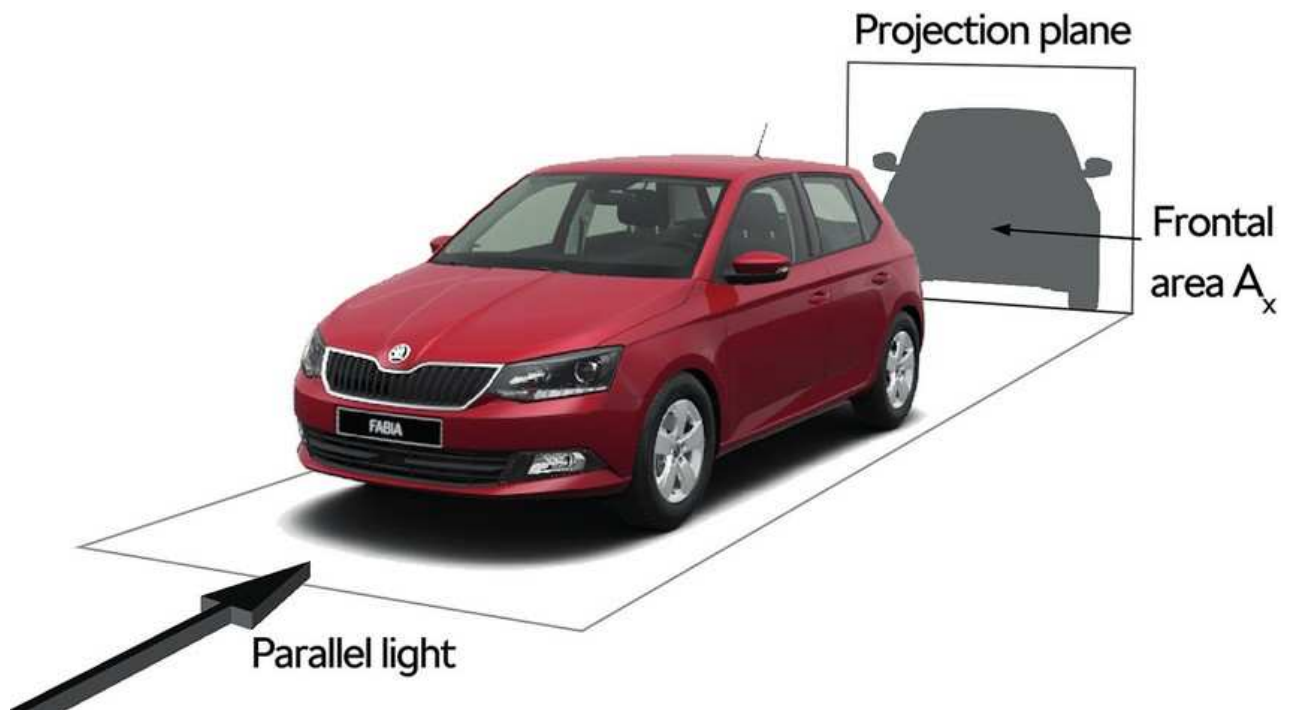


Рис. 3.1. Пояснення щодо визначення лобової площі легкового автомобіля
 [https://www.researchgate.net/figure/Definition-of-the-reference-frontal-area-A-x-of-the-vehicle_fig4_365923164]

Таблиця 3.3. Значення лобової площі деяких марок легкових автомобілів

Тип транспортного засобу	Лобова площа (орієнтовно) за зовнішніми габаритами, м. кв.
ИЖ-412	2,0
Москвич-423	2,2
Москвич-2141	2,1
АЗЛК-2140	2,0
ЗАЗ-1102	1,9
ГАЗ-20 Победа	2,5
ГАЗ-24	2,4
ЗАЗ-968М	1,9
ВАЗ-2105	2,1
ВАЗ-2106	2,0
ВАЗ-2107	2,0
ВАЗ-2108	2,0
ВАЗ-2109	2,0

3.3. Коефіцієнт корисної дії трансмісії

Для розрахунку за формулою (1.5) також необхідно знати коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії – $\eta_{\text{тр}}$, залежить від кількості і властивостей кінематичних пар, які передають механічну енергію від двигуна до ведучих коліс автомобіля. Його значення для механічних ступінчастих трансмісій можна приймати за табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Орієнтовні значення коефіцієнта корисної дії $\eta_{\text{тр}}$ трансмісії транспортних засобів

Тип транспортного засобу	Колісна формула	$\eta_{\text{тр}}$
Вантажні автомобілі і автобуси з одинарною головною передачею	4x2	0,90...0,92
Легкові автомобілі і автобуси особливо малого і малого класів	4x2	0,92...0,94
Повнопривідні легкові автомобілі і автобуси особливо малого класу	4x4	0,90...0,92

3.4. Інші характеристики транспортних засобів та параметри руху

Маса транспортного засобу.

Маса автомобіля – це один з ключових параметрів, який впливає на безліч характеристик транспортного засобу, від динаміки розгону до економічності споживання палива або електроенергії. Види маси автомобіля:

– Споряджена маса: Це маса автомобіля, повністю готового до експлуатації, але без пасажирів, багажу та додаткового обладнання. Включає в себе масу кузова, двигуна, трансмісії, палива, охолоджуючої рідини та інших робочих рідин.

– Повна маса: Це максимальна дозволена маса автомобіля, включаючи споряджену масу, пасажирів, багаж та додаткове обладнання. Вказана виробником і не повинна перевищуватися.

– Вантажопідйомність: Це різниця між повною масою і спорядженою масою. Визначає, яку максимальну кількість пасажирів і вантажу може перевозити автомобіль.

Маса деяких марок легкових автомобілів наведена в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Маса деяких марок легкових автомобілів

Тип	Маса, споряджена/вантажу/повна, кг
Иж-412	1045/400/1445
Москвич-423	950/480/1430
Москвич-2141	1080/400/1480
АЗЛК-2140	1035/400/1435
ЗАЗ-1102	709/100/809
ГАЗ-20 Победа	1460/-/-
ГАЗ-24	1400/-/1825
ЗАЗ-968М	840/320/1160
ВАЗ-2105	1060/400/1460
ВАЗ-2106	1040/425/1465
ВАЗ-2107	1060/-/1500
ВАЗ-2108	915/425/1430
ВАЗ-2109	945/425/1370

Радіус ведучого колеса.

Радіус ведучого колеса – це відстань від центру колеса до точки його дотику з дорогою. Може бути визначений за формулою:

$$r = d/2 + \lambda \cdot B,$$

де d – діаметр обіду колеса, м;

λ – коефіцієнт зминання покриття. Для легкових автомобілів $\lambda = 0,84 - 0,88$. Прийmemo $\lambda = 0,85$;

B – висота профілю. Для низько профільної шини B буде складати % від ширини, який зазначено в маркуванні шини.

Посадочний діаметр обіду зазначається в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм).

Розрахуємо радіус ведучого колеса для марок шин:

– 185/ 60 R13

$$r = 13 \cdot 25,4/2 + 0,85 \cdot 0,6 \cdot 185 = 259,45 \text{ мм} = 0,259 \approx 0,26 \text{ м},$$

– 175/70 R13

$$r = 13 \cdot 25,4/2 + 0,85 \cdot 0,7 \cdot 175 = 269,225 \text{ мм} = 0,269 \approx 0,27 \text{ м},$$

Коефіцієнт тертя кочення.

Коефіцієнт тертя кочення – це безрозмірна величина, яка характеризує силу опору, що виникає при коченні одного тіла по поверхні іншого. Іншими словами, це показник того, наскільки легко одне тіло котиться по іншому. Чим менший коефіцієнт тертя кочення, тим менше зусиль потрібно для перекочування тіла. Залежить від матеріалів колеса та покриття по якому воно котиться.

Для гумових колесів значення коефіцієнту тертя кочення лежить в межах від 0,01 для асфальтобетонного покриття до 0,1 для ґрунтової розмоклої дороги. Середнє значення коефіцієнту тертя кочення для більшості покриттів знаходиться біля 0,02.

Кут нахилу дороги.

Кут нахилу дороги – це кут між горизонтальною площиною і поверхнею дороги. Він визначає, наскільки дорога відхиляється від горизонталі. Цей параметр має значний вплив на безпеку руху, особливо на крутих підйомах і спусках.

Кут нахилу дороги зазвичай позначають у відсотках. Наприклад, напис "10%" означає, що на кожні 100 метрів шляху дорога піднімається або опускається на 10 метрів.

При розрахунках задамося значенням 20%.

Щільність повітря.

Щільність повітря – це фізична величина, яка показує, яка маса повітря міститься в одиниці об'єму. Іншими словами, це міра того, наскільки "щільним" є повітря. Цей параметр має важливе значення у багатьох природних процесах та технічних застосуваннях.

Щільність повітря залежить від кількох основних факторів:

- Температура: Зі збільшенням температури повітря розширюється, і його щільність зменшується. Це пов'язано з тим, що при підвищенні температури молекули повітря рухаються швидше і віддаляються одна від одної.
- Тиск: Зі збільшенням тиску щільність повітря зростає.
- Вологість: Водяна пара легша за повітря, тому чим вища вологість, тим менша щільність повітря.

Згідно з Міжнародною стандартною атмосферою, на рівні моря стандартною величиною щільності повітря зазвичай вважається $1,225 \text{ кг/м}^3$. Це значення відповідає щільності сухого повітря за температури 15°C та тиску 101330 Па .

Розрахункова швидкість електромобіля.

За розрахункову швидкість автомобіля приймемо максимальну дозовану швидкість у населеному пункті та поза ним. Тобто, в межах населеного пункту 50 км/год , поз ним 90 км/год .

Час розгону до розрахункової швидкості.

З метою збереження запроектованих розгінних характеристик автомобіля в якості часу розгону до розрахункової швидкості використовуємо паспортні дані часу розгону автомобіля до 100 км/год (табл. 3.6).

Таблиця 3.6. Час розгону до 100 км/год деяких марок легкових автомобілів

Тип	Час розгону до 100 км/год , с
Иж-412	19
Москвич-423	–
Москвич-2141	11,5
АЗЛК-2140	19
ЗАЗ-1102	16
ГАЗ-20 Победа	46
ГАЗ-24	12-20
ЗАЗ-968М	32
ВАЗ-2105	16-23
ВАЗ-2106	16-18
ВАЗ-2107	13-21
ВАЗ-2108	9,5-22
ВАЗ-2109	12,5-17

Передавальне число головної передачі.

Передавальне число головної передачі – це один з ключових параметрів трансмісії автомобіля, який визначає співвідношення частот обертання ведучого і веденого валів головної передачі. Іншими словами, це показує, у скільки разів частота обертання ведучого вала (з'єднаного з коробкою передач) більша за частоту обертання веденого вала (з'єднаного з ведучими колесами) (табл. 3.7).

Таблиця 3.7. Передавальне число головної передачі деяких марок легкових автомобілів

Тип	$u_{гп}$
Иж-412	3,91
Москвич-423	4,55
Москвич-2141	3,9
АЗЛК-2140	4,22
ЗАЗ-1102	3,875
ГАЗ-20 Победа	5,125
ГАЗ-24	4,1
ЗАЗ-968М	4,125
ВАЗ-2105	3,9
ВАЗ-2106	3,9
ВАЗ-2107	3,9
ВАЗ-2108	3,9
ВАЗ-2109	3,9

3.5. Розрахунок параметрів електродвигуна.

Технічні параметри прийняті за константи.

– Коефіцієнт тертя кочення f .

Прийmemo рівному середньому значенню для більшості поширених покриттів доріг $\approx 0,02$.

– Маса автомобіля m .

Аналізуючи дані табл. 3.5 мас деяких марок легкових автомобілів можна зробити висновок, що в середньому значення повної маси автомобіля

коливається в межах $1450 \text{ кг} \pm 100 \text{ кг}$. Отже, масу автомобіля в розрахунках можна прийняти рівною 1450 кг .

– Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x .

Аналізуючи дані табл. 3.2 коефіцієнту аеродинамічного опору повітря деяких марок легкових автомобілів можна зробити висновок, що в середньому значення для радянських автомобілів коливається в межах $0,43 \pm 0,05$. Отже, коефіцієнт аеродинамічного опору автомобіля в розрахунках можна прийняти рівним $0,43$.

– Лобова площа проекції S .

Аналізуючи дані табл. 3.3 лобової площі деяких марок легкових автомобілів можна зробити висновок, що в середньому значення коливається в межах $2,0 \pm 0,2 \text{ м}^2$. Отже, лобову площу автомобіля в розрахунках можна прийняти рівною $2,0 \text{ м}^2$.

– Радіус ведучого колеса r .

Радіус ведучого колеса приймемо рівним $r = 0,27 \text{ м}$, згідно проведеного розрахунку для шини типу – 175/70 R13.

– Коефіцієнт корисної дії трансмісії $\eta_{\text{тр}}$.

ККД трансмісії приймемо згідно з табл. 3.4 рівним $\eta_{\text{тр}} = 0,9$.

– Передавальне число головної передачі $u_{\text{гп}}$.

Передавальне число головної передачі приймемо згідно з табл. 3.7 рівним $u_{\text{гп}} = 3,91$.

3.5.1. Розрахунок стартового моменту електродвигуна.

Розрахунок стартового моменту електродвигуна необхідний для визначення значення крутного моменту на валу необхідного для старту транспортного засобу. Під стартом розуміється початок руху від швидкості, яка дорівнює нулю. Найбільш важким стартом будемо вважати початок руху навантаженого автомобіля на дорозі нахиленої під кутом 45% . В цьому випадку формула (1.5) спроститься до наступного виразу:

$$\begin{aligned}
 M_e &= (fmg \cdot \cos\alpha + mg \cdot \sin\alpha) \cdot r / (\eta_{\text{тр}} \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) = \\
 &= (0,02 \cdot 1450 \cdot 9,8 \cdot \cos(\arcsin(45/100)) + 1450 \cdot 9,8 \cdot (45/100)) \cdot 0,27 / (0,9 \cdot 3,49 \cdot 3,91) = \\
 &= 146,2 \text{ Н} \cdot \text{м},
 \end{aligned}$$

де $u_{\text{кп}} = 3,49$ – передаточне число першої передачі КПП (Москвич 412).

3.5.2. Розрахунок параметрів електродвигуна при рівномірному русі по горизонтальній поверхні з максимальною швидкістю.

При русі автомобіля горизонтальною поверхнею з максимальною швидкістю формула (1.5) спроститься в ній будуть відсутні доданки пов'язані з прискоренням та подоланням ухилу дороги:

– при русі у місті (50 км/год)

Необхідний момент двигуна:

$$\begin{aligned}
 M_e &= (fmg \cdot \cos\alpha + C_x S p \cdot v^2 / 2) \cdot r / (\eta_{\text{тр}} \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) = \\
 &= (0,02 \cdot 1450 \cdot 9,8 + 0,43 \cdot 2,0 \cdot 1,225 \cdot (50/3,6)^2) \cdot 0,27 / (0,9 \cdot 1,0 \cdot 3,91) = \\
 &= 29,6 \text{ Н} \cdot \text{м},
 \end{aligned}$$

де $u_{\text{кп}} = 1,0$ – передаточне число четвертої передачі КПП (Москвич 412).

Швидкість обертання двигуна

$$n = (v \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) / (2\pi \cdot r \cdot 3,6) = (50 \cdot 1,0 \cdot 3,91) / (2 \cdot 0,27 \cdot 3,6) = 32 \text{ об/с} = 1920 \text{ об/хв.}$$

Необхідна потужність двигуна

$$P = \pi M \cdot n / 30 = \pi \cdot 29,6 \cdot 1920 / 30 = 5953,9 \text{ Вт.}$$

– при русі на трасі (90 км/год)

Необхідний момент двигуна:

$$M_e = (fmg \cdot \cos\alpha + C_x S p \cdot v^2 / 2) \cdot r / (\eta_{\text{тр}} \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) =$$

$$= (0,02 \cdot 1450 \cdot 9,8 + 0,43 \cdot 2,0 \cdot 1,225 \cdot (90/3,6^3)/2) \cdot 0,27 / (0,9 \cdot 1,0 \cdot 3,91) =$$

$$= 47,1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $u_{\text{кп}} = 1,0$ – передаточне число четвертої передачі КПП (Москвич 412).

Швидкість обертання двигуна

$$n = (v \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) / (2\pi \cdot r \cdot 3,6) = (90 \cdot 1,0 \cdot 3,91) / (2 \cdot 0,27 \cdot 3,6) = 32 \text{ об/с} = 3457 \text{ об/хв.}$$

Необхідна потужність двигуна

$$P = \pi M \cdot n / 30 = \pi \cdot 47,1 \cdot 3457 / 30 = 17039 \text{ Вт.}$$

3.5.3. Розрахунок параметрів електродвигуна при прискоренні.

При розрахунках параметрів електродвигуна в режимі прискорення транспортного засобу задамося заводськими характеристиками розгону до 100 км/год. При цьому будемо вважати що автомобіль рухається по горизонтальній дорозі, яка немає нахилу.

Необхідний момент двигуна при старті ($v = 0$):

$$M_e = (fmg \cdot \cos \alpha + C_x S p \cdot v^2 / 2 + m(v / (3,6 \cdot t)) \cdot (1,05 + 0,05 \cdot u_{\text{кп}})) \cdot r / (\eta_{\text{тр}} \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) =$$

$$= (0,02 \cdot 1450 \cdot 9,8 + 0,43 \cdot 2,0 \cdot 1,225 \cdot (0/3,6^3)/2 + 1450(100/(3,6 \cdot 19))(1,05 +$$

$$+ 0,05 \cdot 3,49)) \cdot 0,27 / (0,9 \cdot 3,49 \cdot 3,91) = 63,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $u_{\text{кп}} = 3,49$ – передаточне число першої передачі КПП (Москвич 412).

Відповідно при старті швидкість обертання двигуна та необхідна потужність дорівнює нулю.

При русі зі швидкістю $v = 10$ км/год:

$$M_e = (fmg \cdot \cos \alpha + C_x S p \cdot v^2 / 2 + m(v / (3,6 \cdot t)) \cdot (1,05 + 0,05 \cdot u_{\text{кп}})) \cdot r / (\eta_{\text{тр}} \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) =$$

$$= (0,02 \cdot 1450 \cdot 9,8 + 0,43 \cdot 2,0 \cdot 1,225 \cdot (10/3,6^3)/2 + 1450(100/(3,6 \cdot 19))(1,05 +$$

$$+ 0,05 \cdot 3,49)) \cdot 0,27 / (0,9 \cdot 3,49 \cdot 3,91) = 63,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Швидкість обертання двигуна

$$n = (v \cdot u_{\text{кп}} \cdot u_{\text{гп}}) / (2\pi \cdot r \cdot 3,6) = (10 \cdot 3,49 \cdot 3,91) / (2 \cdot 0,27 \cdot 3,6) = 1340,6 \text{ об/хв.}$$

Необхідна потужність двигуна

$$P = \pi M \cdot n / 30 = \pi \cdot 63,4 \cdot 1340,6 / 30 = 8901,4 \text{ Вт.}$$

Аналогічним чином розраховані параметри електродвигуна при інших швидкостях руху при прискоренні транспортного засобу. Процес розрахунку є подібними, а результати зведені до табл. 3.8.

Таблиця 3.8. Результати розрахунку параметрів електродвигуна при прискоренні та різних швидкостях руху

Швидкість руху, км/год.	Крутний момент, Н·м	Швидкість обертання валу, об./хв..	Потужність, Вт
0	63,3	0	0
10	63,4	1340,6	8901,4
20	63,7	2681,2	17878,1
30	103,9	2350,9	25582,3
40	105	3134,5	34460,9
50	158,8	2554,5	42479,3
60	161,4	3065,4	51803,1
70	216	2688,9	60822,8
80	220,7	3073,1	71017,2
90	226	3457,2	81813,6

Отже, аналізуючи дані розрахунку параметрів електродвигуна з прискоренням та при рівномірному русі можна зробити висновок, що необхідність прискореного руху робить кратне збільшення споживаної потужності так, наприклад, при русі зі швидкістю 90 км/год прискорення

вимагає п'ятикратного збільшення потужності, а при швидкості 50 км/год семикратного збільшення потужності.

3.5.4. Вибір електродвигуна.

Згідно проведених вище розрахунків необхідні параметри приводного двигуна:

Пусковий момент: 146,2 Н·м,

Номінальний момент: 47,1 Н·м – для заміського руху, 29,6 Н·м – для руху в місті.

Номінальна потужність: 17 кВт – для заміського руху, 6 кВт – для руху в місті.

Номінальна швидкість обертання: 3457 об/хв. – для заміського руху, 1920 об/хв. – для руху в місті.

Виберемо асинхронний електродвигун в якості основного. Отже, можна запропонувати:

для заміського руху – електродвигун АИР160М2 з такими параметрами: потужність – 18,5 кВт, частота обертів: 3000 об/хв., момент, що крутить, номінальний 60,094 Н·м, відношення пускового моменту, що крутить, до номінального 2,0.

для руху в місті – електродвигун АИР132М4 з такими параметрами: потужність – 11 кВт, частота обертів: 1500 об/хв., момент, що крутить, номінальний 72 Н·м, відношення пускового моменту, що крутить, до номінального 2,3.

В якості альтернативи виберемо безщітковий електродвигун постійного струму BLDC:

для заміського руху – електродвигун НРМ3000В з такими параметрами: потужність – 20 кВт, частота обертів: 3200-6000 об/хв., момент, що крутить, номінальний – 80 Н·м, максимальний – 160 Н·м.

для руху в місті – електродвигун НРМ-10KW з такими параметрами: потужність – 10 кВт, частота обертів: 2000-4500 об/хв., момент, що крутить, номінальний 30 Н·м, максимальний – 60 Н·м.

3.5.5. Розрахунок параметрів кумуляторної батареї.

Акумуляторну батарею виберемо з умови забезпечення пробігу 100 км на одній зарядці.

Для заміського руху на швидкості 90 км/год. акумулятор повинен розряджатися

$$t_{\text{роз}} = 100/90 = 1,12 \text{ год.}$$

При цьому він повинен віддавати потужність з урахування ККД двигуна 0,9 та контролера 0,9

$$P_{\text{акум}} = P/(\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{кон}}) = 17/(0,9 \cdot 0,9) = 21 \text{ кВт.}$$

Номінальний струм при цьому складе при обраній стандартній напрузі 96 В

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{акум}}/U_{\text{стан}} = 21000/96 = 219 \text{ А.}$$

При обраній стандартній напрузі 96 В та часу роботи $t_{\text{роз}}$ необхідна ємність акумуляторної батареї складе:

$$C_{\text{акум}} = P_{\text{акум}} t_{\text{роз}}/U_{\text{стан}} = 21000 \cdot 1,12/96 = 245 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Аналогічним чином для міського руху на швидкості 50 км/год:

$$t_{\text{роз}} = 100/50 = 2 \text{ год.}$$

$$P_{\text{акум}} = P/(\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{кон}}) = 6/(0,9 \cdot 0,9) = 7,4 \text{ кВт.}$$

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{акум}}/U_{\text{стан}} = 7400/96 = 77 \text{ А.}$$

$$C_{\text{акум}} = P_{\text{акум}} t_{\text{роз}}/U_{\text{стан}} = 7400 \cdot 2/96 = 155 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

3.6. Загальні висновки за результатами розрахунку.

Отже, роблячи висновки за результатами проведених розрахунків можна відзначити наступне. В разі переобладнання легкового автомобіля на електричну тягу цілком достатнім та прийнятним буде використання електричного двигуна номінальною потужністю 10 кВт. Цієї потужності буде

достатньо, як для комфортного руху в міських умовах, так і прийняттого руху за межами населених пунктів на високій швидкості. А пікова потужність, яка щонайменше вдвічі перевищує номінальну забезпечить прийнятні розгінні характеристики. В якості приводного двигуна краще всього застосовувати безколекторні двигуни постійного струму BLDC. Вони володіють гарними характеристиками при відносно невеликій вазі та є «стандартом» для застосування в електромобілях. В якості стандартної напруги таких двигунів можна використати напругу, як 96 В так і 48 В. Напруги 48 В буде достатньо для забезпечення нормальної роботи електромеханічної системи легкового автомобіля. Так, в цьому випадку робочий струм буде біля 200 А, що може бути забезпечено літєвими акумуляторами ємністю 280-310 А·год. Також застосування стандартної напруги 48 В дозволить використання поширених та недорогих плат BMS і контролерів BLDC. Ємність акумуляторної батареї біля 300 А·год забезпечить пробіг легкового автомобіля щонайменше 100 км.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

4.1. Основні аспекти техніко-економічного порівняння

Для проведення техніко-економічного порівняння автомобілів з електродвигуном (ЕД) і двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) слід оцінити ключові параметри, які впливають на вартість володіння, експлуатацію, технічну складність та екологічний вплив. Основні аспекти такого порівняння:

1. Вартість придбання

- Автомобіль з ДВЗ: Зазвичай дешевший на етапі покупки через ширше поширення технології та меншу вартість виробництва.
- Автомобіль з ЕД: Вища початкова вартість через використання акумуляторів і складніших електронних систем. Проте, вартість знижується завдяки розвитку технологій і збільшенню масштабів виробництва.

2. Експлуатаційні витрати

- ДВЗ: Вищі витрати на паливе (бензин, дизель), регулярне технічне обслуговування (заміна масла, фільтрів, ременів тощо).
- ЕД Низькі витрати на електроенергію, мінімальні витрати на обслуговування (відсутність складних механічних елементів, наприклад, коробки передач).

3. Екологічний вплив

- ДВЗ: Значний негативний вплив через викиди CO_2 , NO_x та інших забруднювальних речовин.
- ЕД: Відсутність прямих викидів, але екологічний слід залежить від джерела електроенергії (наприклад, використання вугілля для генерації електрики).

4. Технічне обслуговування

- ДВЗ: Вимагає частого обслуговування через більшу кількість рухомих деталей і складність механізмів.
- ЕД: Простіша конструкція, менша кількість деталей, що зношуються, знижує частоту й вартість обслуговування.

5. Дальність пробігу

- ДВЗ: Залежить від розміру паливного бака. Перевага – швидке заправлення.
- ЕД: Залежить від ємності акумулятора. Зарядка займає більше часу, хоча сучасні зарядні станції значно скоротили цей показник.

6. Економія на довгостроковій основі

- ДВЗ: Економічно вигідний у короткостроковій перспективі, але витрати на паливе та обслуговування накопичуються.
- ЕД: Вищі початкові витрати компенсуються низькими витратами на зарядку й обслуговування впродовж усього строку служби.

7. Інфраструктура

- ДВЗ: Добре розвинена заправна мережа.
- ЕД: Інфраструктура зарядних станцій активно розвивається, але в деяких регіонах залишається недостатньою.

8. Енергетична ефективність

- ДВЗ: Коефіцієнт корисної дії (ККД) 20–30%.
- ЕД: ККД 80–95%, що робить електродвигуни набагато ефективнішими.

9. Термін служби

- ДВЗ: Залежить від якості обслуговування та умов експлуатації (100–300 тис. км).
- ЕД: Електродвигуни зазвичай служать довше, але батареї потребують заміни через 8–15 років.

Електротранспорт економічно вигідний у довгостроковій перспективі, екологічно чистіший і потребує меншого технічного обслуговування. Водночас автомобілі з ДВЗ залишаються більш доступними й практичними у регіонах із недостатньо розвиненою зарядною інфраструктурою.

Таблиця 4.1. Підсумкова порівняльна таблиця

Параметр	ДВЗ	ЕД
Початкова вартість	Нижча	Вища
Витрати на експлуатацію	Вищі	Нижчі
Екологічність	Високий рівень забруднення	Мінімальний рівень забруднення
Обслуговування	Складніше й дорожче	Просте й дешевше
Дальність пробігу	Вища, швидке заправлення	Обмежена, залежить від доступності зарядок
Енергетична ефективність	Низька (20–30%)	Висока (80–95%)
Інфраструктура	Добре розвинена	Потребує розвитку
Довговічність	100–300 тис. км	Залежить від акумулятора (8–15 років)

4.2. Визначення капіталовкладень та усереднених річних поточних витрат для індивідуального автотранспорту

Загальна вартість двигуна внутрішнього згорання становить близько 140 тис.грн (\$5 тис.), враховуючи, що вартість електродвигун цієї ж серії – 224 тис.грн (\$8 тис.) Тож варіант комплектації електромобіля з аналогічними тяговими характеристиками потребує вищих початкових капіталовкладень в розмірі 84 тис.грн (\$ 3 тис.)

Оскільки в електромобілів провідний механізм набагато спрощується та за нормальних умов експлуатації має строк служби 10-15 років, то єдиним елементом, котрий потребує періодичного огляду і заміни залишаються акумуляторні батареї (номінальний строк служби котрих 3 роки) та пускорегулююча апаратура. Зношення батарей значною мірою залежить від режиму експлуатації, перегріву та переохолодження батарей, що призводить до передчасної втрати ємності, та виходу з ладу.

Як підсумок розрахуємо та отримаємо середні витрати на рік.

За усталеними уявленнями, електромобіль – це транспорт виключно для міста, адже запас ходу, який вони можуть забезпечити відносно невеликий.

Зарядний пристрій здатен працювати за 1 або 3-фазною системою електроживлення і видає робочу потужність від 3 до 22 кВт залежно від обраної системи живлення. Це дозволяє за короткий час отримати значний запас ходу.

4.3. Розрахунок економічної ефективності заміщення привідної системи автомобіля на основі ДВЗ на систему на основі електроприводу

Варіант 1. ДВЗ.

В варіанті двигуна внутрішнього згорання загальною вартістю 5 тис. дол. Строк служби проекту – 8 років, пробіг – 120 тис. км. Вартість ремонтних та пусконаладжувальних робіт може бути прийнятою 2% від вартості обладнання. В цьому випадку початкові капіталовкладення в обладнання складуть 140000 тис. грн.

Загальні капіталовкладення по варіанту згідно з (4.3):

$$K = K_{облад} + K_{тр} + K_{монтаж,роб} = 140000 + 2800 + 7000 = 149800 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість використаного палива, врахуємо, що середня витрата 6л./100км., тобто 7200,00 л/120 тис. км.:

$$B_{е.е.} = WP \cdot C_0 = 7200 \cdot 54 = 388800 \text{ грн.}$$

де C_0 – вартість палива, бензин $C_0 = 54$ грн./л.

WP – кількість спожитого бензину, $WP = 7200$ л./120 т.км.

Загальні річні експлуатаційні витрати, станом на 9 рік обслуговування:

$$\begin{aligned} Z_t = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = 1632,15 + 1935,49 + 2462,88 + 2650,00 + 3857,63 + 4729,04 + \\ + 5075639 + 22000,00 = 44342,58 \text{ грн.} \end{aligned}$$

де Z_n – річні експлуатаційні витрати, грн.

Еквівалентні річні витрати двигуна внутрішнього згорання (4.1):

$$EPB = \frac{149800 + 157\,323,27}{4,967} = 61832,75 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.3.1 Розрахунок витрат для ДВЗ

Рік експлуатації	Величина експлуатаційних витрат	Коефіцієнт приведених витрат	Приведені експлуатаційні витрати
1	28832,15	0,892857	25742,99
2	29135,49	0,797194	23226,63
3	29662,88	0,71178	21113,45
4	29850,00	0,635518	18851,3
5	31057,63	0,567427	17622,93
6	31929,04	0,506631	16176,25
7	32275,39	0,452349	14599,75
8	49200,00	0,403883	19871,05

Таблиця. 4.3.2 Вартість ТО для двигуна внутрішнього згорання

Рік експлуатації	Пробіг	Назва	Вартість, грн
1	15 т. км	Перше регламентоване ТО1	1632,15
2	30 т. км.	ТО2	1935,49
3	45 т. км.	ТО3	2462,88
4	60 т. км.	ТО4	2650
5	75 т. км.	ТО5	3857,63
6	90 т. км.	ТО6	4729,04
7	105 т. км.	ТО7	5075,39
8	120 т. км.	Капітальний ремонт двигуна ТО8	22000
		Всього	44342,58

Варіант 2. Електропривод

В варіанті розглянуто електромобіль загальною вартістю 8 тис. дол. Строк служби проекту – 8 років, пробіг – 120 тис. км. Вартість ремонтних та пусконаладжувальних робіт може бути прийнятою 2% від вартості обладнання. В цьому випадку капіталовкладення в обладнання складуть 224000 тис. грн.

Загальні капіталовкладення по варіанту згідно з (4.3):

$$K = K_{ел.прив.} + K_{пуск} + K_{АКБ} = 224000 + 4480 + 11200 = 239680 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість використаного палива, врахуємо, що середня витрата $21 \text{ кВт} \cdot \text{час} / 150 \text{ км}$.

$$B_{е.е.} = WE \cdot C_0 = 16800 \cdot 4,32 = 72576 \text{ грн.}$$

де C_0 – вартість електроенергії, $C_0 = 4,32 \text{ грн./кВт}$.

WP -кількість спожитого бензину, $WE = 16800,00 \text{ кВт} \cdot \text{м.} / 120 \text{ т.км}$.

Загальні річні поточні витрати, станом на 9 рік обслуговування:

$$Z_t = Z_t = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = 420,00 + 420,00 + 420,00 + 466,00 + 420,00 + 420,00 + \\ + 466,00 + 126000,00 = 129032,00 \text{ грн.}$$

де Z_n – річні експлуатаційні витрати, грн.

Еквівалентні річні витрати електроприводу згідно з (4.5):

$$EPB = \frac{239680 + 143965,4}{4,967} = 60755,73 \text{ грн.}$$

Розраховані економічні показники за різними варіантами виконання зведені до табл. 4.3.5.

Аналіз результатів розрахунку (табл. 4.3.5) показує, що варіант електромобіля з електричним приводом має найменші еквівалентні витрати, а отже є більш вигідним. Це пояснюється меншими поточними витратами ніж в автомобіля з двигуном внутрішнього згорання та меншими витратами на оплату палива, в варіанті з використанням електроенергії.

Таблиця 4.3.3 Розрахунок витрат для електроприводу

Рік експлуатації	Величина експлуатаційних витрат	Коефіцієнт приведених витрат	Приведені експлуатаційні витрати
1	2286,67	0,892857	2041,67
2	2286,67	0,797194	1822,919
3	2332,67	0,71178	1660,348
4	2286,67	0,635518	1453,22
5	2286,67	0,567427	1297,518
6	2286,67	0,506631	1158,498
7	2332,67	0,452349	1055,181
8	127866,7	0,403883	51643,2

Таблиця 4.3.4 Вартість ТО для двигуна внутрішнього згорання

Рік експлуатації	Пробіг	Назва	Вартість, грн
1	15 т. км	Перше регламентоване ТО1	420
2	30 т. км.	ТО2	420
3	45 т. км.	ТО3	466
4	60 т. км.	ТО4	420
5	75 т. км.	ТО5	420
6	90 т. км.	ТО6	420
7	105 т. км.	ТО7	466
8	120 т. км.	Заміна АКБ ТО8	126000
		Всього	129032

Таблиця 4.3.5. Економічні показники різних варіантів виконання

Економічний показник	Варіант виконання	
	Двигун внутрішнього згорання	Електропривод
Капіталовкладення, грн.	149800	239680
Вартість спожитого палива	388800	72576
Загальні річні поточні витрати грн./рік	33752,25	143032,00
Еквівалентні річні витрати, грн.	61832,75	60755,73
Різниця річних витрат, грн	61832,75-60755,73=1077,02	

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації автонавантажувачів, електронавантажувачів та електрокарів.

Експлуатація автонавантажувачів, електронавантажувачів та електрокарів супроводжується цілим рядом небезпечних та шкідливих факторів, які можуть призвести до травмування персоналу, пошкодження обладнання та матеріальних цінностей. Тому, для забезпечення безпеки роботи необхідно проводити детальний аналіз цих факторів та вживати відповідних заходів.

Основні небезпечні та шкідливі фактори:

– *Механічні фактори:*

Падіння вантажу: Неправильне закріплення вантажу, перевантаження, несправність гальмівної системи можуть призвести до падіння вантажу та травмування персоналу.

Перекидання навантажувача: Неправильне маневрування, перевищення швидкості, нерівна поверхня можуть призвести до перекидання навантажувача.

Затискання частин тіла: Рухомі частини навантажувача (вилки, щогли, вали) можуть затиснути частини тіла оператора.

Удар рухомими частинами: При зіткненні з нерухомими предметами або іншими транспортними засобами можуть відлетіти уламки, які можуть травмувати людей.

– *Електричні фактори:*

Удар електричним струмом: Пошкодження ізоляції проводів, контакт з оголеними проводами, несправність електрообладнання можуть призвести до ураження електричним струмом.

Пожежа: Коротке замикання, перевантаження електромережі, несправність акумуляторних батарей можуть спричинити пожежу.

– *Термічні фактори:*

Опіки: Контакт з гарячими поверхнями двигуна, акумуляторних батарей або інших нагрітих деталей.

Фактори виробничого середовища:

Підвищений рівень шуму: Робота двигуна, гідравлічних систем створює підвищений рівень шуму, що може негативно впливати на слух.

Виділення шкідливих речовин: При роботі двигуна внутрішнього згоряння виділяються шкідливі речовини, які можуть забруднювати повітря робочої зони.

Пилоутворення: При переміщенні сипучих матеріалів утворюється пил, який може подразнювати дихальні шляхи.

Заходи безпеки:

Регулярний технічний огляд: Своєчасне виявлення та усунення несправностей.

Підготовка персоналу: Навчання операторів правилам безпечної експлуатації навантажувачів.

Використання захисних засобів: Каски, рукавички, окуляри.

Організація робочого місця: Правильне розміщення обладнання, достатнє освітлення.

Дотримання правил дорожнього руху: На території підприємства необхідно дотримуватися встановлених правил дорожнього руху.

Періодичний медичний огляд: Для виявлення професійних захворювань.

5.2. Безпечна експлуатації літій-іонних, літій-фосфатних акумуляторних батарей в електромобілях.

Літій-іонні та літій-фосфатні акумулятори є серцем сучасних електромобілів. Їх висока енергоємність та щільність енергії забезпечують значний запас ходу, однак, неправильна експлуатація може призвести до

серйозних наслідків, таких як пожежа чи вибух. Тому, безпечна експлуатація цих батарей є надзвичайно важливою.

Основні загрози та заходи безпеки

Перегрівання: Тривала інтенсивна робота, короткі замикання, зовнішні джерела тепла.

Заходи:

Ефективна система охолодження батарей.

Захист від перегріву за допомогою термодатчиків і систем управління батареями (BMS).

Уникання тривалої роботи на максимальній потужності.

Перезаряд: Помилки в системі зарядки, несправності BMS.

Заходи:

Використання спеціальних зарядних пристроїв для електромобілів.

Регулярна діагностика системи зарядки.

Захист від перезаряду за допомогою BMS.

Глибокий розряд: Вичерпання заряду батареї нижче допустимого рівня.

Заходи:

Уникання повного розрядження батареї.

Використання систем моніторингу заряду.

Механічні пошкодження: Аварії, падіння, прокол.

Заходи:

Міцний корпус батареї.

Захист від ударів і вібрацій.

Коротке замикання: Пошкодження внутрішніх елементів батареї, зовнішнє механічне пошкодження.

Заходи:

Високоякісні матеріали для виробництва батарей.

Захист від коротких замикань за допомогою BMS.

Правила експлуатації літій-іонних та літій-фосфатних акумуляторів:

– Заряджайте батарею відповідно до інструкції виробника.

- Не залишайте автомобіль під прямими сонячними променями на тривалий час.
- Уникайте екстремальних температур.
- Не модифікуйте систему зарядки.
- Регулярно проводите технічне обслуговування електромобіля.
- У разі виявлення будь-яких проблем з батареєю, зверніться до сервісного центру.

Роль системи управління батареями (BMS)

BMS відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки літій-іонних та літій-фосфатних акумуляторів. Вона здійснює моніторинг таких параметрів, як:

- Напруга кожної комірки
- Температура
- Зарядний струм
- Загальний заряд батареї
- Знос батареї

На основі отриманих даних BMS приймає рішення про зарядку, розрядку, балансування комірок та інші дії, спрямовані на забезпечення безпечної та ефективної роботи батареї.

5.3. Техніка безпеки при роботі з акумуляторними батареями

Основні правила техніки безпеки при роботі з акумуляторними батареями.

- Захисний одяг:
 - Обов'язково використовуйте захисні окуляри, рукавички, фартух і взуття з діелектричною підошвою.
 - Захисний одяг повинен бути чистим і сухим.
- Вентиляція:
 - При роботі з акумуляторами забезпечте хорошу вентиляцію приміщення.

- Уникайте роботи в закритих приміщеннях з поганою вентиляцією.
- Захист від вогню:
 - Не куріть і не використовуйте відкритий вогонь поблизу акумуляторів.
 - Майте під рукою вогнегасник, призначений для гасіння електроустановок.
- Захист від коротких замикань:
 - Не торкайтеся контактів акумулятора металевими предметами.
 - Переконайтеся, що клеми акумулятора чисті і щільно затягнуті.
- Захист від перегріву:
 - Не залишайте акумулятори під прямими сонячними променями.
 - Дотримуйтесь рекомендацій виробника щодо температури експлуатації.
- Захист від механічних пошкоджень:
 - Обережно поведіться з акумуляторами, уникайте ударів і падінь.
 - Не розбирайте акумулятори самостійно.
- Захист від перенапруги:
 - Використовуйте зарядні пристрої, призначені для конкретного типу акумуляторів.
 - Не перевищуйте рекомендований час заряджання.
- Захист від перерозряду:
 - Не допускайте повного розряду акумулятора.
- Утилізація:
 - Відпрацьовані акумулятори утилізуйте відповідно до вимог безпеки та екологічних норм.

5.4. Способи безпечної утилізації акумуляторних батарей

Акумуляторні батареї, хоча і є незамінними джерелами енергії, містять шкідливі речовини, які можуть завдати шкоди довкіллю та здоров'ю

людини при неправильній утилізації. Тому, надзвичайно важливо знати, як правильно позбутися від відпрацьованих батарей.

Важливість правильної утилізації.

- **Захист довкілля:** Багато компонентів батарей, такі як важкі метали (свинець, кадмій, нікель), кислоти та луги, є токсичними для ґрунтів, води та живих організмів.
- **Охорона здоров'я:** Контакт з цими речовинами може призвести до серйозних захворювань у людини.
- **Отримання цінних ресурсів:** Багато компонентів батарей підлягають вторинній переробці, що дозволяє зберегти природні ресурси та зменшити обсяг відходів.

Способи утилізації

1. Здача в пункти прийому:

- Найпростіший і найбезпечніший спосіб.
- Багато магазинів електроніки, супермаркетів та спеціалізованих пунктів прийому відходів обладнані контейнерами для збору батарейок.
- Переконайтеся, що батарейки різних типів (лужні, літій-іонні, нікель-кадмієві тощо) здаються окремо.

2. Спеціалізовані компанії:

- Існують компанії, які займаються професійною утилізацією батарей. Вони мають необхідне обладнання та технології для безпечної переробки.
- Зверніться до місцевих екологічних організацій або пошукайте інформацію в Інтернеті.

3. Утилізація автомобільних акумуляторів:

- Автомобільні акумулятори (свинцево-кислотні) здаються в спеціалізовані пункти прийому або автосервіси.
- Вони містять значну кількість свинцю, який є токсичним для довкілля.

Процес утилізації

Загальний процес утилізації акумуляторних батарей включає такі етапи:

- Збір та сортування: Батарейки сортуються за типами для подальшої переробки.
- Розбирання: Батарейки розбираються на складові частини.
- Обробка: Кожна складова частина піддається відповідній обробці:
 - Метали витягуються та направляються на переробку.
 - Пластик і інші матеріали подрібнюються та використовуються для виробництва нових продуктів.
 - Шкідливі речовини нейтралізуються.
- Переробка: Отримані матеріали використовуються для виробництва нових продуктів, таких як нові батареї, сплави металів тощо.

Чого не можна робити:

- Викидати батарейки у звичайний смітєвий бак: Це призводить до забруднення ґрунту та підземних вод.
- Спалювати батарейки: При спалюванні виділяються токсичні речовини, які забруднюють повітря.
- Розбирати батарейки самостійно: Це може призвести до витікання електроліту, короткого замикання та інших небезпечних ситуацій.

Пам'ятайте: правильна утилізація акумуляторних батарей – це наш спільний внесок у збереження довкілля для майбутніх поколінь.

5.5. Електротравми. Види ураження електричним струмом.

Електротравма – це ушкодження організму людини, спричинене дією електричного струму. Вони можуть бути різноманітними за своєю природою та наслідками, залежно від сили струму, тривалості його дії, шляху проходження через тіло людини та індивідуальних особливостей організму.

Види ураження електричним струмом:

1. Місцеві електротравми:

- о Електричні опіки: Виникають внаслідок теплової дії електричного струму. Можуть бути внутрішніми (ураження внутрішніх органів) та зовнішніми (опіки шкіри).
- о Електричні знаки: Блідо-жовті або сірі плями на шкірі, що з'являються в місці контакту з провідником під дією електричного струму.
- о Металізація шкіри: Впровадження частинок металу в шкіру під дією електричної дуги.
- о Електроофтальмія: Запалення очей, спричинене ультрафіолетовим випромінюванням електричної дуги.
- о Механічні пошкодження: Розриви тканин, переломи кісток внаслідок різкого скорочення м'язів під дією струму.

2. Загальні електротравми:

- о Електричний удар: Супроводжується порушенням функцій серцево-судинної та нервової систем. Може призвести до втрати свідомості, судом, зупинки дихання і серця.
- о Електролітичні процеси: Під дією електричного струму в тканинах організму відбуваються електролітичні процеси, які можуть призводити до порушення їх функцій.

Фактори, що впливають на тяжкість електротравми:

- Сила струму: Чим більша сила струму, тим важчі наслідки.
- Вид струму: Змінний струм небезпечніший за постійний.
- Шлях проходження струму через тіло: Найнебезпечнішим є шлях "рука-рука" через серце.
- Тривалість дії струму: Чим довше діє струм, тим важчі наслідки.
- Опір тіла людини: Залежить від стану шкіри, вологості, наявності поту.
- Частота струму: Високочастотні струми менш небезпечні, ніж низькочастотні.

Запобігання електротравмам

- Дотримання правил безпеки при роботі з електроустановками.

- Використання засобів індивідуального захисту.
- Регулярний технічний огляд електрообладнання.
- Наявність заземлення.
- Надання першої допомоги постраждалим.

Перша допомога при електротравмі:

1. Відключити джерело живлення!
2. Викликати швидку медичну допомогу.
3. Оглянути потерпілого і надати першу допомогу відповідно до його стану:
 - o Якщо немає дихання, провести штучне дихання.
 - o Якщо немає пульсу, зробити непрямий масаж серця.
 - o Зупинити кровотечу.
 - o Накласти стерильну пов'язку на опіки.

Пам'ятайте: кожна секунда дорогоцінна при наданні першої допомоги постраждалому від електротравми.

ВИСНОВКИ

1. Електромобіль є одним із найперспективніших видів транспорту XXI століття. Однією з ключових переваг таких авто є їхня економічність: найефективніші моделі споживають приблизно 10 кВт·год на 100 км, що робить «заправку» вкрай дешевою. До того ж електрокари не потребують мастил, фільтрів та інших витратних матеріалів, необхідних для автомобілів із двигуном внутрішнього згорання. Регулярного обслуговування вимагає лише ходова частина, і проводити його можна на звичайних станціях технічного обслуговування за помітно нижчою вартістю порівняно з традиційними авто. Серед інших переваг електромобілів варто виділити їхню безшумну роботу та відсутність шкідливих викидів. Крім того, використання електроенергії в таких автомобілях є до п'яти разів ефективнішим, ніж у транспорті з традиційними двигунами.

Однак електрокари мають і певні недоліки, зокрема високу вартість акумуляторної батареї, що істотно впливає на загальну ціну автомобіля.

2. В Україні набуває популярності переобладнання традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згорання на електричну тягу. Проте в більшості випадків такі модифікації виконуються без чіткої методології. Роботи здійснюються із використанням доступних матеріалів і пристроїв, без попередніх інженерних розрахунків, що може призводити до технічних проблем, таких як поломки контролерів або двигунів, незадовільні характеристики руху, значні матеріальні витрати на придбання обладнання завищеної потужності.

3. Проведений аналіз методики проектування електромеханічної частини електротранспорту, на основі якої можна провести необхідні розрахунки по вибору її елементів та визначення характеристик.

4. За результатами проведених розрахунків можна відзначити наступне. В разі переобладнання легкового автомобіля на електричну тягу цілком достатнім та прийнятним буде використання електричного двигуна

номінальною потужністю 10 кВт. Цієї потужності буде достатньо, як для комфортного руху в міських умовах, так і прийнятного руху за межами населених пунктів на високій швидкості. А пікова потужність, яка щонайменше вдвічі перевищує номінальну забезпечить прийнятні розгінні характеристики.

5. В якості приводного двигуна краще всього застосовувати безколекторні двигуни постійного струму BLDC. Вони володіють гарними характеристиками при відносно невеликій вазі та є «стандартом» для застосування в електромобілях. В якості стандартної напруги таких двигунів можна використати напругу, як 96 В так і 48 В. Напруги 48 В буде достатньо для забезпечення нормальної роботи електромеханічної системи легкового автомобіля. Так, в цьому випадку робочий струм буде біля 200 А, що може бути забезпечено літійовими акумуляторами ємністю 280-310 А·год. Також застосування стандартної напруги 48 В дозволить використання поширених та недорогих плат BMS і контролерів BLDC. Ємність акумуляторної батареї біля 300 А·год забезпечить пробіг легкового автомобіля щонайменше 100 км.

6. Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що варіант електромобіля з електричним приводом хоч і має вищі початкові капіталовкладення, та враховуючи витрати на паливо і технічне обслуговування має строк окупності - 8 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sirikov O.I., Stets P.G., Stets I.G. The reasoning of the necessity of development the designing method of the electromechanical elements of electric transport. Автоматика, компютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2018): міжнародна науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 15-16 листопада 2018 р., – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2018. – С. 119-120.
2. Проноза П.В. Світове автомобілебудування: сучасні тенденції та перспективи розвитку / П.В. Проноза // Бізнес Інформ. – 2015. С. 118- 125.
3. Данилишин Б.М. Машинобудування в Україні: тенденції, проблеми, перспективи / Б.М. Данилишин. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2010. 308 с
4. Бусыгин Б.П. Электромобили (методы расчёта)- Учеб. Пособие - Москва : МАДИ 1979.-74 с
5. Andrea, Davide. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs Электронный ресурс / D. Andrea // Artech House. ISBN 1608071049. – 2010. – 234 p. Режим доступа: [http:// book.liionbms.com/](http://book.liionbms.com/)
6. Луценко І.М., Циган П.С. Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України // Вісник КрНУ. – Кременчук: 2017. – Вип. 6/2017 (107).
7. «Розрахунок електродвигуна»
http://4exam.info/book_179_glava_5_3._Rozrakhunok_elektrodiviguna.html
8. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – К.: Либідь, 2002.
9. «Дмитро Спіцин - суб'єктивний погляд на електромобіль»
<http://sdisle.com/ev/calc/evcalc.html>
10. Малиш Н. А. Формування та розвиток електромобільної галузі в Україні / Н.А. Малиш // Зелена економіка : перспективи впровадження в

Україні : матеріали Між-народної конференції (Київ, 24–25 квіт. 2012 р.) : у 3 т. – К. : Центр еколог. освіти та інформації, 2012. – Т. 1. – С. 240–244.

11. Зарядка електромобіля: где и как правильно “заправлять” електрокар, особенности домашних зарядных устройств//ЕкоТехника – Режим доступа [<https://ecotechnica.com.ua>]

12. Проектний аналіз : Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Г. О. Бардиш; Нац. банк України, Львів. банк. ін-т. - Л., 2004. - 415 с.

13. Бураєв Ю.В. Безпека життєдіяльності на транспорті: навч. Дні студентів вищих навчальних закладів / Ю.В. Бураєв - М.: Академія 2004.- 288с.

14. ДСТУ 3465-96. Системи електропостачальні загального призначення. Терміни та визначення [Текст].– Київ : Держстандарт, 1997. – 18 с.

15. Законодавство України про охорону праці / Зібр. у 4 т. - К., 1995. - 1902с.

16. Сіріков О.І., Стець П.Г., Стець І.Г. Обґрунтування розробки методики проектування електромеханічної частини електротранспорту. Перспективні напрямки інформаційних і комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 13-14 листопада 2018 р., – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – С. 62-63.

17. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, Г. А. Гнатова, П. А. Сохін // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології : зб. наук. пр. [Електронний ресурс] / М-во освіти і науки України, ХНАДУ. - Харків, 2022. - Вип. 21